



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MOŽNOSTI SYSTÉMU SINUMERIK PŘI PROGRAMOVÁNÍ ROTAČNÍ STROJNÍ SOUČÁSTI

SINUMERIK TOOLS FOR PROGRAMMING OF ROTATIONAL MACHINE PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. DANIEL SLAVÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POLZER, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Daniel Slavík

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Možnosti systému Sinumerik při programování rotační strojní součásti

v anglickém jazyce:

Sinumerik tools for programming of rotational machine part

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je řešení technologie třískového obrábění zvolené rotační součásti pro výrobu na soustružnickém CNC stroji s řídicím systémem Sinumerik. Navržená součástka je reálnou na trhu dostupnou součástí (součástku vyrábí firma SLAVOKO s.r.o.). Stávající konvenční technologie je však v této práci nahrazena modernějším strojním i nástrojovým vybavením. Problematika programování třískového obrábění je doplněna novou výrobní dokumentací a NC program je ověřen formou vizualizace a verifikace v softwaru SinuTrain.

Cíle diplomové práce:

- stručné začlenění řídicího systému Sinumerik mezi ostatní programovací prostředí a metody
- stručný popis programované součásti
- zpracování technologické dokumentace
- praktické ověření NC programu formou simulace
- ekonomické zhodnocení nově navržené výroby

Seznam odborné literatury:

- ATKINS, Anthony G. The science and engineering of cutting: the mechanics and processes of separating, scratching and puncturing biomaterials, metals and non-metals. 1st ed. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, c2009, xiii, 413 s. ISBN 978-0-7506-8531-3.
- SMITH, Graham T. Cutting tool technology: industrial handbook. London: Springer, c2008, xii, 599 s. ISBN 978-1-84800-204-3.
- XU, Yongdong. Chemical vapour deposition: an integrated engineering design for advanced materials. London: Springer, c2010, 342 s. Engineering materials and processes. ISBN 978-1-84882-893-3.
- TSCHÄTSCH, Heinz. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, c2009, xvii, 398 s. ISBN 978-3-642-01006-4.
- SINGAL, R. Fundamentals of machining and machine tools. I.K. International Publishing House Pvt.: , c2008, xii, 369 s. ISBN 978-81-89866-66-2.
- SHAW, Milton Clayton. Metal cutting principles. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005, xix, 651 s. ISBN 01-951-4206-3.
- MCMAHON, Chris. CAD/CAM principles, practice and manufacturing management. 2nd ed. Harlow: Prentice Hall, 1998, 665 s. ISBN 02-011-7819-2.
- FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. (Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. Překlad M. Kudela.), 1. vyd., Praha, Scientia, s.r.o., 1997. 857 p. ed. J. Machač, J. Řasa, ISBN 91-97 22 99-4-6.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 16.10.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá výrobou rotační strojní součásti na soustružnickém CNC stroji s řídicím systémem Sinumerik. Nejprve je stručně popsána zvolená součástka, na kterou je později vytvořen NC program v systému Sinutrain Operate 4.5. Daný program je následně ověřen simulací. V rámci této práce je zpracována technická dokumentace, která obsahuje nový technologický postup výroby a výrobní výkres zadané součásti. Na závěr je věnována pozornost technicko-ekonomickému zhodnocení nově navržené výroby, kde jsou ověřeny zvolené řezné podmínky a potřebný výkon CNC stroje. Výsledkem práce je rovněž určení hodinové sazby CNC soustruhu a ceny součástky s ohledem na nově prezentovanou výrobu.

Klíčová slova

CNC soustruh, NC program, řídicí systém, soustružení, frézování, trvanlivost nástroje

ABSTRACT

This diploma thesis deals with a manufacture of rotating mechanical component on CNC lathe machine with Sinumerik control system. At first the chosen component is briefly described and then NC program is created in Sinutrain Operate 4.5 system. Afterwards the program is verified by simulation. Within the diploma thesis a technological documentation is elaborated that contains a new technological course of manufacture and a manufacture drawing of the component. The final part of this thesis is focused on technical-economic evaluation of newly designed manufacture with verification of cutting conditions and required output of the CNC machine. The outcome of the thesis defines an hour rate of CNC lathe and price of component that regards to newly presented manufacture.

Key words

CNC lathe, NC program, control system, turning, milling, instrument durability

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SLAVÍK, D. *Možnosti systému Sinumerik při programování rotační strojní součásti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 68 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Možnosti systému Slnumerk při programování rotační strojní součásti** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

20.5.2014

Datum

Bc. Daniel Slavík

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. za cenné rady a za celkovou pomoc při tvorbě této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval panu Jiřímu Dočkalovi, Ing. Josefu Večerníkovi, Ing. Přemyslu Pokornému, Ph.D., Ing. Jiřímu Dvořáčkovi, Ph.D., Ing. Petře Sliwkové, Ph.D. za přínosné konzultace, společnosti TEDOM a.s. divize Motory Jablonec n.N. a firmě KOVOSVIT MAS, a.s. za poskytnuté podklady a panu Milanu Rusiňákovi za pomoc při provádění experimentu. Zároveň bych rád poděkoval za možnost využití vybavení NETME Centre, regionálního výzkumného a vývojového centra vybudovaného z finančních prostředků Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace v rámci projektu NETME Centre (Nové technologie pro strojírenství), Reg. č.: CZ.1.05/2.1.00/01.0002 a podporovaného v navazující fázi udržitelnosti prostřednictvím projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) za finanční příspěví Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 POPIS VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI	10
1.1 Funkce a použití výrobku	10
1.2 Materiálové vlastnosti výrobku	12
2 ROZBOR STÁVAJÍCÍ VÝROBY	13
2.1 Soustružnické operace	13
2.1.1 Soustružnické operace 1. strany	13
2.1.2 Soustružnické operace 2. strany	13
2.2 Frézovací operace	14
2.2.1 Frézování speciální mazací drážky	14
2.2.2 Frézování rovinných ploch na hlavě čepu	14
2.3 Vrtání spojovacího otvoru Ø 4 mm	14
2.4 Zušlechťování materiálu	14
2.5 Dokončovací operace - broušení	15
2.6 Detekce slabých míst ve stávající výrobě	15
3 ROZBOR NOVĚ NAVRŽENÉ VÝROBY	16
3.1 Příprava polotovaru pro soustružení	16
3.2 Soustružnické operace s využitím CNC stroje	17
3.2.1 Volba CNC stroje	17
3.2.2 Volba řezných nástrojů	19
3.3 Frézování rovinných ploch na hlavě čepu	28
3.4 Vrtání spojovacího otvoru Ø 4 mm	29
3.5 Zušlechťování materiálu	29
3.6 Dokončovací operace – broušení	29
4 METODY PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	31
4.1 ISO programování	32
4.2 Dílensky orientované programování	34
4.3 Programování pomocí CAD/CAM technologie	34
5 ZAČLENĚNÍ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU SINUMERIK MEZI OSTATNÍ PROGRAMOVACÍ PROSTŘEDÍ A METODY	37
5.1 Řídicí systémy Sinumerik	37

5.2 Řídicí systémy FANUC	38
5.3 Řídicí systémy Heidenhain	39
6 NC PROGRAM PRO VÝROBU SOUČÁSTI	40
6.1 NC program pro výrobu 1. strany čepu.....	40
6.1.1 Soustružení základního tvaru čepu	40
6.1.2 Výroba závitu M24x2-6h ČSN ISO 724.....	42
6.1.3 Výroba speciální mazací drážky	43
6.2 NC program pro výrobu 2. strany čepu.....	44
6.2.1 Sražení vnější hrany čepu.....	44
6.2.2 Vrtání díry Ø 9 mm.....	45
6.2.3 Sražení vnitřní hrany čepu	45
6.2.4 Výroba závitu M10x1-6H ČSN ISO 774	46
6.3 Praktické ověření NC programu formou simulace	47
7 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NOVĚ NAVRŽENÉ VÝROBY	48
7.1 Ověření řezných podmínek s ohledem na trvanlivost nástroje	48
7.2 Ověření potřebného řezného výkonu CNC soustruhu	53
7.3 Hodinová sazba CNC soustruhu	57
7.4 Stanovení ceny vyráběné součásti pomocí nově navržené výroby	58
ZÁVĚR	60
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	61
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	67
SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

V dnešní době se díky rychlému rozvoji strojírenství můžeme setkat s celou řadou firem, zabývajících se výrobou rotačních strojních součástí. Aby si jednotlivé firmy upevnilly svoji pozici v tomto velice konkurenčním prostředí, snaží se nejrůznějšími způsoby vylepšovat technologii svojí výroby. V praxi to tedy znamená vyrábět levněji, rychleji a kvalitněji než konkurenční firmy a podniky. K uskutečňování těchto faktorů patří především inovace výrobních strojů a zařízení. V oblasti výroby rotačních strojních součástí se nejčastěji jedná o využití technologie CNC obrábění. Hlavní výhodou této technologie oproti konvenčním strojům je velmi snadná změna výroby, která umožňuje rychle reagovat na měnící se požadavky jednotlivých zákazníků. Mezi další přednosti CNC techniky můžeme zařadit zkracování výrobních časů, zvyšování přesnosti a kvality obráběných ploch, snižování zmetkovitosti a menší nároky na obsluhu stroje díky jejich zcela automatickému nebo poloautomatickému chodu. [1, 2]

Z výše uvedených důvodů dnes téměř každá prosperující firma v tomto oboru vlastní alespoň jeden CNC stroj, nebo jeho zakoupení může zvažovat. Mezi tyto společnosti můžeme zařadit i firmu SLAVOKO s.r.o., která se zabývá výrobou nejrůznějších druhů čepů (viz obr. 1). Tyto čepy jsou vyráběny pomocí starších konvenčních soustruhů typu SN 50 B. Z důvodu zkrácení výrobních časů a zvýšení produktivity práce však firma do budoucna uvažuje o zakoupení CNC soustruhu.

Tato diplomová práce má za úkol ukázat možnosti výroby těchto čepů pomocí technologie CNC obrábění. V prvních kapitolách bude stručně popsán firmou zvolený výrobek, na který bude později vytvořen NC program v systému SinuTrain Operate V4.5. Následně bude zpracována nová technologická dokumentace, která bude obsahovat výběr CNC stroje a potřebných nástrojů, nový technologický postup výroby a výrobní výkres dané součásti. Na závěr se bude diplomová práce zabývat ekonomickým zhodnocením nově navržené výroby.



Obr. 1 Přehled vyráběných čepů firmou SLAVOKO s.r.o.

1 POPIS VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

Vyráběnou součástkou je čep zadního pera vzduchového pérování. Tato součást je využívána především u nákladních vozidel značky ŠKODA LIAZ 18.33 TBV (viz obr. 2). Přesto že tento podnik v roce 2003 zkrachoval a byla tak ukončena výroba těchto vozidel, jsou tyto vozy v ČR stále velmi rozšířené. Díky jejich nejrůznějším přestavbám a úpravám si tyto vozy našly uplatnění v celé řadě dopravních a transportních odvětvích. [3]



Obr. 2 ŠKODA LIAZ 18.33 TBV [4].

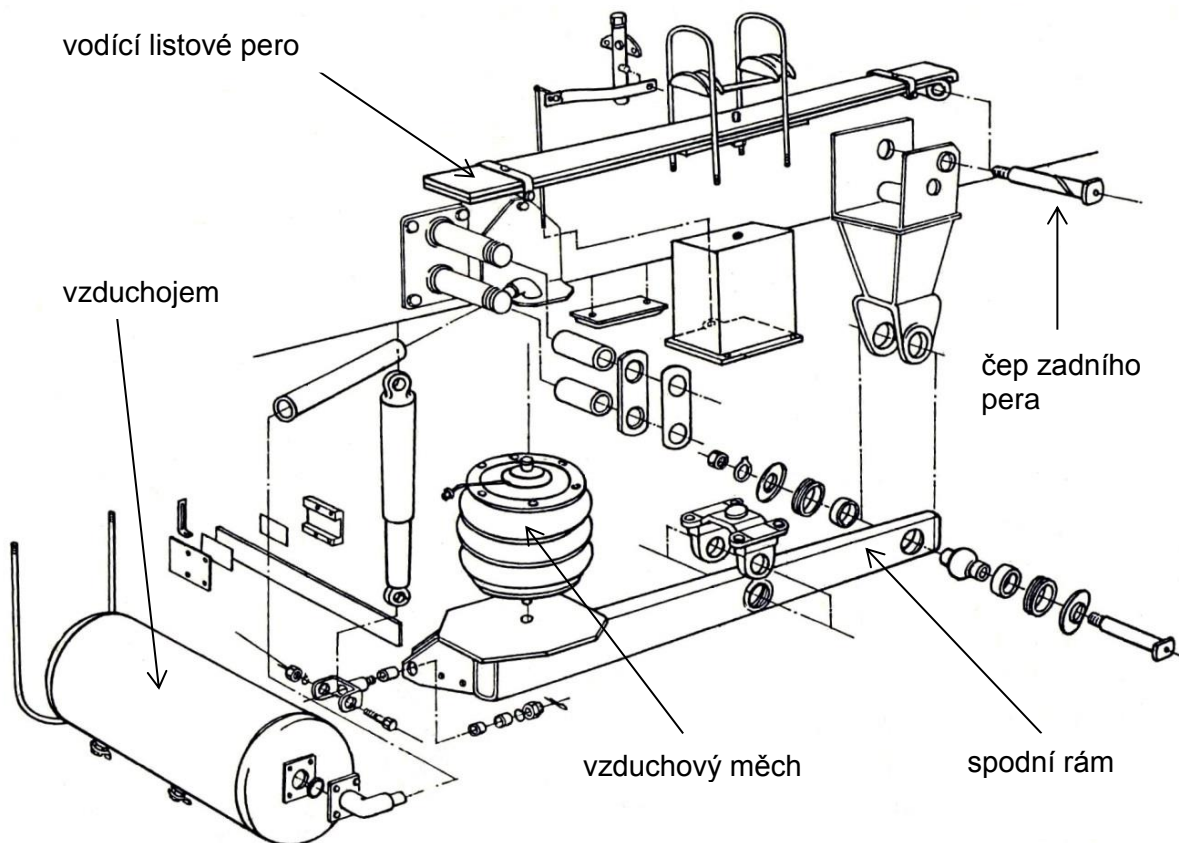
1.1 Funkce a použití výrobku

Daný čep je součástí sestavy zadního vzduchového odpružení, je uložen v místě kyvného uložení listového pera a zajišťuje tak jeho otáčivý pohyb (viz obr. 3).



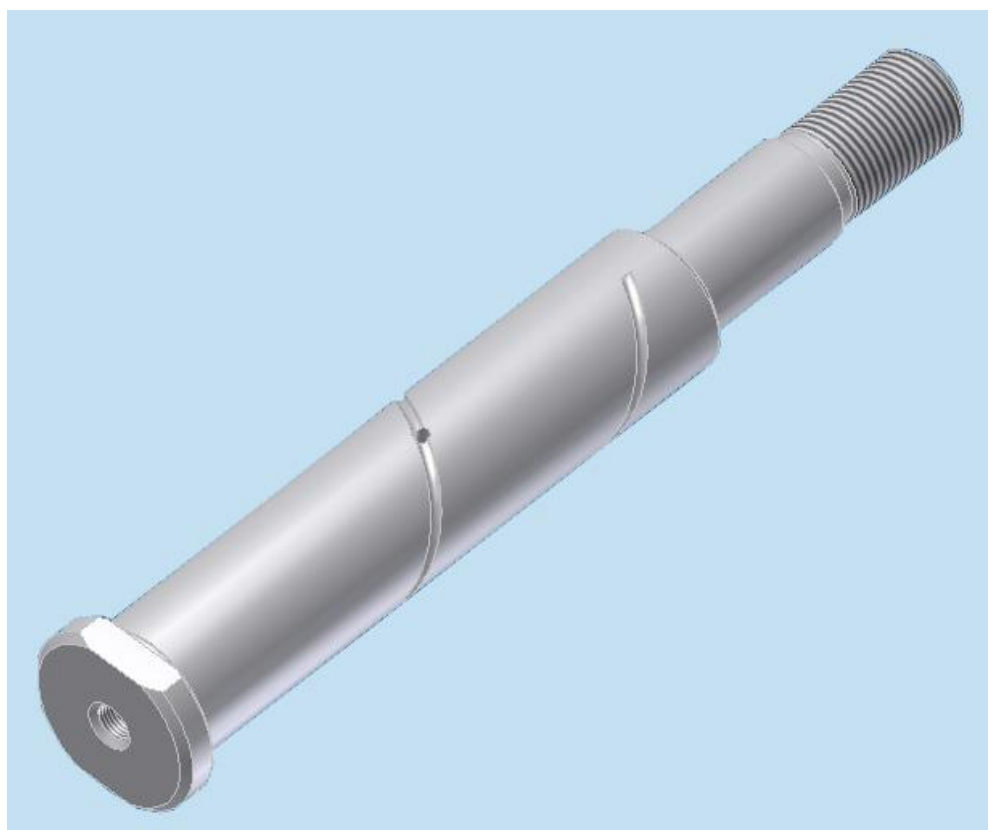
Obr. 3 Zadní odpružení ŠKODA LIAZ 18.33 TBV [5].

V součinnosti se spodním rámem (viz obr. 4) zachycuje daný čep vertikální a horizontální silové složky, které vznikají bržděním nebo akcelerací vozidla [6].



Obr. 4 Schéma sestavy zadního vzduchového odpružení ŠKODA LIAZ 18.33 TBV [7].

Dá se říci, že většina ostatních součástí tohoto typu vyráběných firmou SLAVOKO s.r.o. jsou tvarově velmi podobné a liší se jen v délce nebo v průměru součástí. Charakteristickým znakem těchto výrobků je speciální mazací drážka ve tvaru šroubovice, která zajišťuje přívod a rozložení maziva po povrchu funkční válcové plochy (viz obr. 5). Mazivo je do drážky přiváděno ze středu čepu přes spojovací otvor. Výrobek je z jedné strany zakončen metrickým závitem, na druhé straně je vytvořena válcová hlava, která je z důvodu montáže opatřena dvěma rovinnými plochami.



Obr. 5 Čep zadního pera vzduchového pérování.

1.2 Materiálové vlastnosti výrobku

Součást je vyráběna z konstrukční oceli ČSN 41 4220. Jedná se o ušlechtilou mangan-chromovou ocel vhodnou k cementování. Tato ocel se vyznačuje dobrou tvářitelností za tepla, obrobitelností a svařitelností. Je vhodná pro strojní součásti určené k zušlechťování, k cementování s velmi tvrdou cementovanou vrstvou a s velkou pevností jádra po kalení, jako jsou např. hřídele, ozubená kola, řetězová kola, čepy, zubové spojky atd. [8, 9]

Tab. 1: Chemické složení materiálu ČSN 41 4220 [8].

	C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	P [%]	S [%]
Min.	0,14	1,10	0,17	0,80	-	-
Max.	0,19	1,40	0,37	1,10	0,035	0,035

Daný čep je dále zušlechťován na výslednou tvrdost 30-35 HRC za účelem zlepšení mechanických vlastností. Především se jedná o dosažení vyšší tvrdosti a odolnosti proti opotřebení. [10]

2 ROZBOR STÁVAJÍCÍ VÝROBY

Přesto že se jedná o tvarově jednoduchou součást, je čep vyráběn hned na několika pracovištích. Průběh výroby tohoto výrobku můžeme pro přehlednost rozdělit do pěti základních technologických operací:

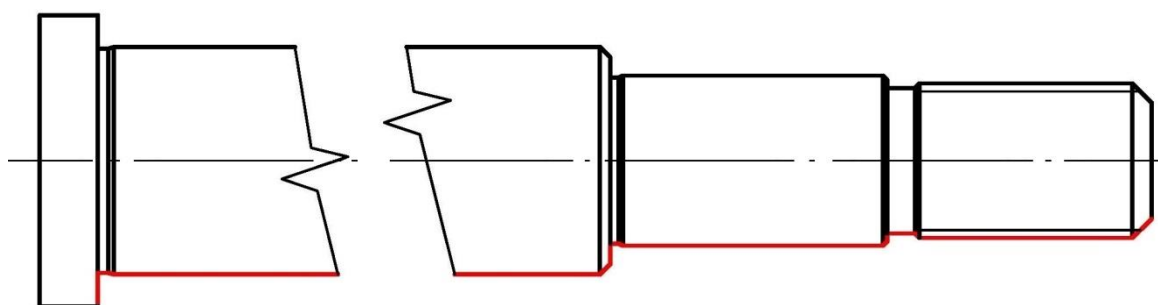
- soustružnické operace,
- frézovací operace,
- vrtání spojovacího otvoru Ø 4 mm,
- zušlechťování materiálu,
- dokončovací operace – broušení.

2.1 Soustružnické operace

Veškeré soustružnické operace jsou vykonávány na konvenčním soustruhu typu SN 50 B (viz příloha 2). S ohledem na postup výroby je možné rozdělit tyto operace na soustružení první a druhé strany.

2.1.1 Soustružnické operace 1. strany

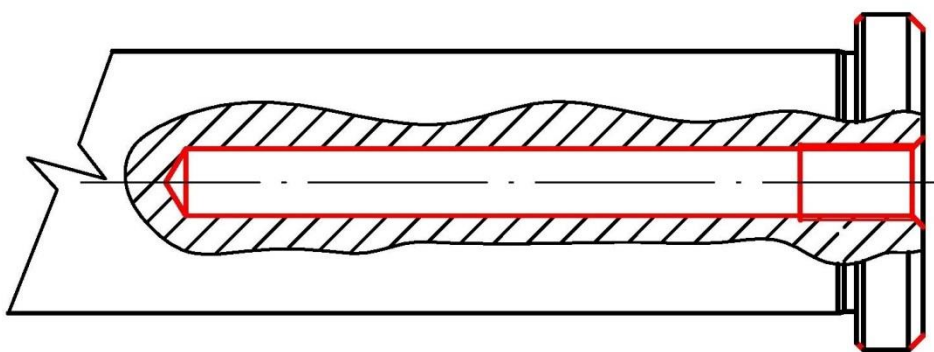
U soustružnických operací první strany jsou nejprve u všech přířezů navrtány středící důlky. Následuje kompletní obrábění jedné strany polotovaru až na požadovaný tvar (viz obr. 6). Poslední operací na této straně obrobku je vytvoření závitu M24x2 ČSN ISO 724.



Obr. 6 Výsledný tvar po soustružnických operacích 1. strany.

2.1.2 Soustružnické operace 2. strany

U těchto operací jsou nejprve u všech kusů znovu navrtány středící důlky na druhé straně a zároveň sraženy hrany. Dále je u každého kusu vyvrtána díra Ø 9 mm a v poslední operaci je vytvořen vnitřní závit M10x1 ČSN ISO 724 (viz obr. 7).



Obr. 7 Výsledný tvar po soustružnických operacích 2. strany.

2.2 Frézovací operace

Frézovací operace jsou vykonávány na dvou pracovištích. Na prvním pracovišti jsou vyráběny mazací drážky, na druhém jsou frézovány rovinné plochy na hlavě čepu.

2.2.1 Frézování speciální mazací drážky

Mazací drážky ve tvaru šroubovice jsou vyráběny na univerzální frézce FA 3 AU (viz příloha 4) pomocí dělicího přístroje, který je spojen ozubeným soukolím s posuvem frézky. Tímto spojením je zajištěn rotační pohyb vřetená dělicího přístroje, ve kterém je upnut obráběný dílec. Fréza je potom pomocí naklápěcího vřeteníku nakloněna v příčném úhlu šroubovice.

2.2.2 Frézování rovinných ploch na hlavě čepu

Rovinné plochy na hlavě čepu jsou vyráběny na horizontální frézce FH2a (viz kapitola 3.3). Obě plochy jsou vyrobeny souběžně pomocí dvou kotoučových fréz, které jsou upnuty na společném frézovacím trnu. Tyto frézy jsou od sebe odděleny pomocí vymezovacích podložek na požadovanou vzdálenost a na jeden pracovní úkon jsou tak obroběny obě dvě plochy.

2.3 Vrtání spojovacího otvoru Ø 4 mm

Na tomto pracovišti je vrtána díra Ø 4 mm propojující střed čepu s mazací drážkou. Prostřednictvím tohoto otvoru se dostává mazivo na funkční povrch válcové plochy. Vrtací operace jsou prováděny na sloupové vrtačce VS 32 B (viz kapitola 3.4).

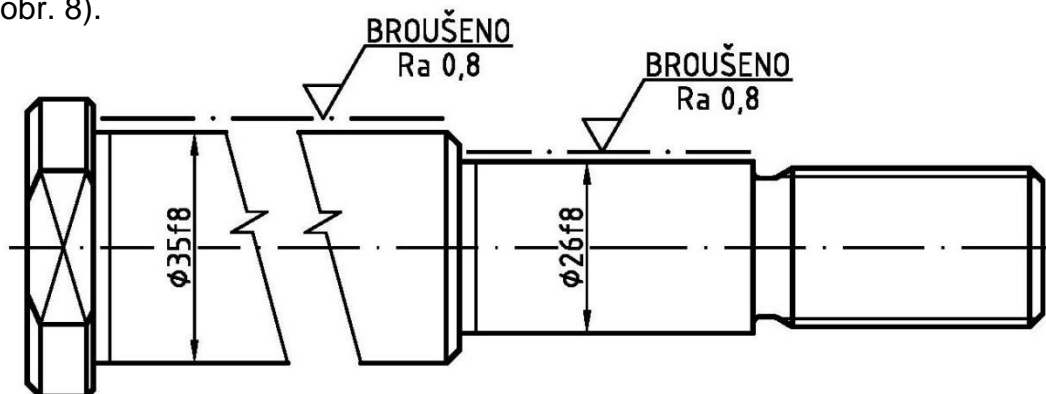
2.4 Zušlechťování materiálu

Za účelem dosažení lepších mechanických vlastností materiálů se dílce zušlechťují na výslednou tvrdost 30-35 HRC. Pomocí elektrické pece o výkonu

20 kW jsou dílce ohřáty na teplotu 850 °C a po potřebném setrvání na této teplotě následně ochlazeny ve vodní lázni. Tímto procesem je dosažena vyšší tvrdost a odolnost čepů proti opotřebení.

2.5 Dokončovací operace - broušení

Jako dokončovací operace můžeme označit broušení dvou válcových ploch (viz obr. 8).



Obr. 8 Broušené plochy.

Průměr 35f8 je broušen na bezhroté brusce BB 6. Průměr 26f8 je poté broušen na univerzální hrotové brusce BUA 16 (viz kapitola 3.6).

2.6 Detekce slabých míst ve stávající výrobě

Dle literatury [11] je podíl pracnosti základních operací při výrobě součástí typu čepů rozdělen následujícím způsobem:

- soustružení 70 až 56 %,
- broušení 16 až 26 %,
- frézování 10 až 13 %,
- vrtání 4 až 5 %.

Soustružení lze tedy označit za nejvýznamnější oblast ve výrobním procesu dané součásti. Jedná se o nejpracnější a zároveň o nejdéle trvající operaci technologického procesu vyžadující lidskou obsluhu. U návrhu nové výroby je tedy příhodné zaměřit se především na optimalizaci soustružnických operací. Mezi hlavní zdroj zvyšování produktivity a ekonomické efektivity výrobního procesu patří především zvyšování podílů mechanizace a automatizace ve výrobním procesu. Zavedením automatizace a v našem případě tedy CNC soustruhu ve výrobě bude dosaženo výrazného snížení pracnosti výroby a účasti dělníka na činnosti stroje. [11]

3 ROZBOR NOVĚ NAVRŽENÉ VÝROBY

Při plánování nově prezentované výroby byl brán ohled nejen na zvýšení produktivity práce, ale i na ekonomicky nejvýhodnější řešení. Při volbě výrobních strojů byl tedy kladen důraz na hospodárnost výroby a na využívání strojů a zařízení, kterými je daná firma již vybavena.

3.1 Příprava polotovaru pro soustružení

Polotovary o rozměrech $\varnothing 45 \times 264$ mm je nařezáván z kruhové tyče KR 45 ČSN 42 6510 – 14 220 pomocí pásové pily Bomar Ergonomic 290.250 GAC (viz obr. 9), kterou již firma vlastní. Jedná se o výkonnou, plně automatickou pásovou pilu s těžkým ramenem z litiny, které díky vysoké odolnosti proti vibracím zaručuje dosažení kvalitních řezných ploch a přesných rozměrů. V mnoha případech tak není potřeba provádět zarovnání čela. [12, 13]



Obr. 9 Pásová pila Bomar 290.250 GAC [13].

Technické informace o stroji [13]:

- výkon motoru: 1,5 kW 400 V/50 Hz
- rychlost pilového pásu: 40-80 m.min⁻¹
- min./max. řezaný průměr: 5 mm/250 mm

3.2 Soustružnické operace s využitím CNC stroje

Dle požadavků a finančních možností firmy bude návrh nové výroby řešen pro použití poloautomatického dvouosého CNC soustruhu. Důvodem pro nevhodnost tříosého soustruhu s poháněnými nástrojovými vřeteny nebo zcela automatického obráběcího centra, které umožňují i frézovací operace je mimo výrazně vyšší pořizovací ceny rovněž skutečnost, že pouze u cca 10 % vyráběných čepů jsou zapotřebí frézovací operace. Většina čepů mají ponechanou válcovou hlavu, nebo jsou vyrobeny z šestihranu a výroba mazací drážky může být dle provedeního experimentu (viz kapitola 3.2.2) nahrazena soustružnickou operací jako výroba závitů s velkou roztečí.

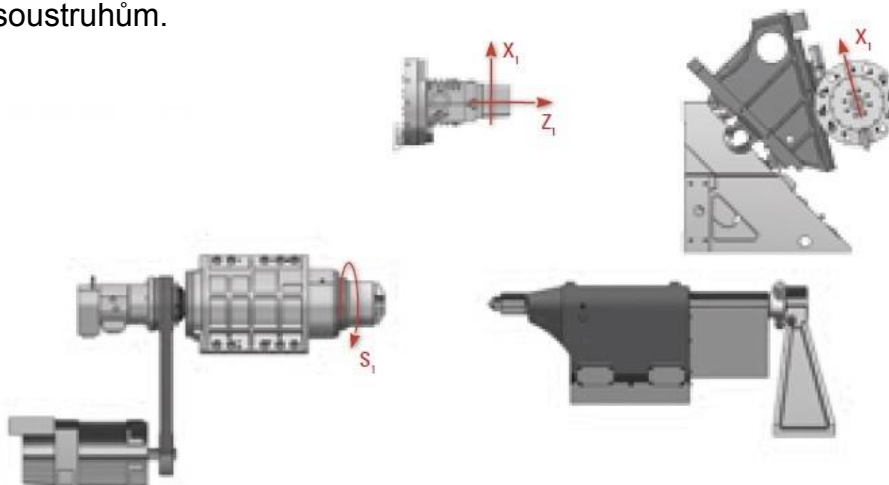
3.2.1 Volba CNC stroje

Jako představitele dvouosých CNC soustruhů základního provedení můžeme uvést stroj SP 180 od společnosti KOVOSVIT MAS a.s. (viz obr. 10).



Obr. 10 CNC soustruh SP 180 [14].

Tyto stroje jsou vybaveny jedním vřetenem a otočným hrotem. Modulárním provedením (viz obr. 11) jsou tedy tyto typy strojů velmi blízké univerzálním hrotovým soustruhům.



Obr. 11 Modulární provedení CNC soustruhu SP 180 [15].

Technické informace o stroji [15]:

- max. obráběný průměr: 180 mm
- max. délka soustružení: 385 mm
- max. otáčky vřetena: 4700 min⁻¹
- max. výkon vřetena: 30 kW
- rychloposuv (osa x, z): 30 m.min⁻¹
- počet možných nástrojů: 12
- upínací rozměr nožů: 20x20 mm
- rozměry stroje (d x š x v): 3875x2122x2345 mm
- hmotnost stroje: 7000 kg

Jedná se o výkonný stroj určený pro univerzální a hospodárné obrábění přírub, hřídelí a součástí z tyče. Tyto stroje se vyznačují tuhou konstrukcí s minimálními teplotními deformacemi. Díky valivému vedení v obou osách je zajištěna vyšší dynamika rychlosti posuvů. Pohon vřetena je zde zajištěn řemenovým náhonem. Dané stroje jsou vzhledem k vynikající tuhosti a stabilitě pohybu os vhodné pro výrobu vysoce přesných obrobků od malosériové až po specializovanou hromadnou výrobu. [16]

Jako alternativa výrobního CNC stroje může být uvedeno provedení SP 180 MC. Jedná se rovněž o dvouosý soustruh s obdobným výkonem a modulárním provedením jako výše zmíněný typ, ale obsahuje navíc poháněné nástrojové držáky o výkonu 6 kW (viz obr. 12), které umožňují frézovací a vrtací operace i mimo osu soustružení. Náklady na pořízení tohoto typu CNC soustruhu jsou ale o 15-30 % vyšší než u prvního typu stroje. [16]



Obr. 12 Poháněné nástrojové držáky [17].

3.2.2 Volba řezných nástrojů

Volba řezných nástrojů byla prováděna s ohledem na typ používané nástrojové hlavy zvoleného CNC stroje, která umožňuje upínání nástrojových držáků o maximálních rozměrech 20x20 mm. Veškeré zde uvedené nástroje byly vybírány z firemních katalogů vydaných pro rok 2014. Je tak zaručena aktuálnost a dostupnost zvolených nástrojů. Řezné podmínky u jednotlivých nástrojů jsou uvedeny již s ohledem na obráběný materiál a jsou voleny dle doporučených hodnot uvedených v daném katalogu.

U nově prezentované výroby bude ponechán základní postup výroby dané součásti a soustružnické operace tedy budou rozděleny na soustružení jedné a druhé strany čepu. Pořadí jednotlivých nástrojů je tedy zvoleno dle potřeby výrobního postupu.

Nástroj č. 1:

Soustružnický nůž levý

Hrubovací operace

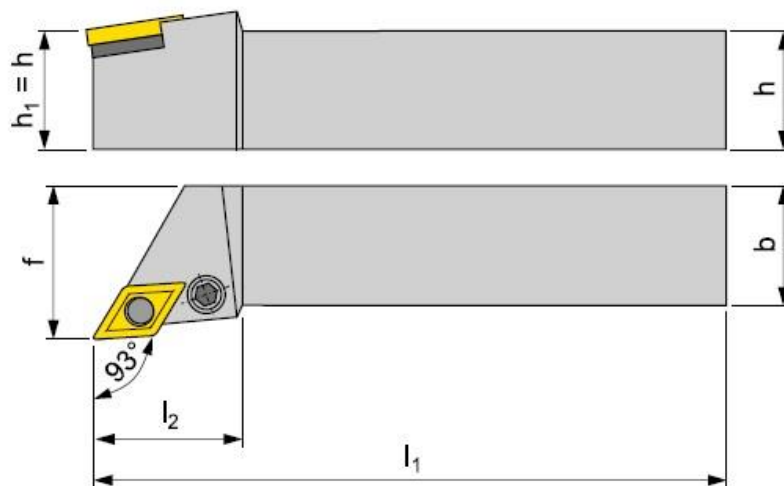
Nástrojový držák: **PDJNL 2020 K 15**

Břitová destička: **DNMG 150608 ER-SI**

Výrobce: Pramet Tools, s.r.o.



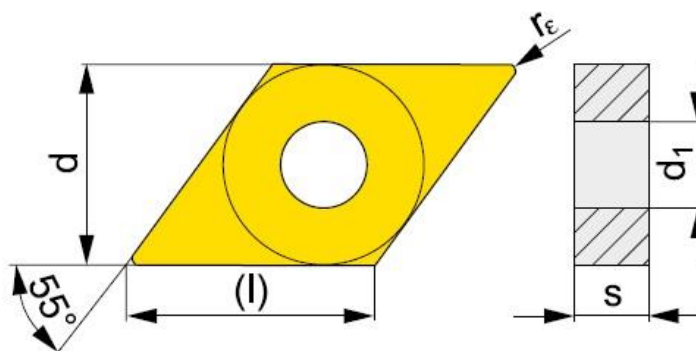
Obr. 13 Soustružnický nůž pravý [18].



Obr. 14 Schéma nástrojového držáku na pozici 1 [18].

Tab. 2: Rozměry nástrojového držáku na pozici 1 [18].

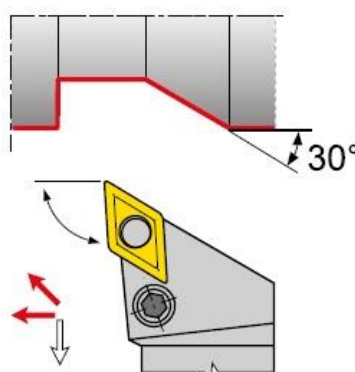
ISO	Rozměry [mm]				
	$h=h_1$	b	f	l_1	l_{2max}
PDJNL 2020 K 15	20	20	25	125	40



Obr. 15 Schéma výměnné břitové destičky pro nástroj č. 1 [18].

Tab. 3: Rozměry výměnné břitové destičky pro nástroj č. 1 [18].

ISO	Rozměry [mm]				
	r_e	(l)	d	d_1	s
DNMG 150608 ER-SI	0,8	15,5	12,7	5,16	6,35



Obr. 16 Schéma pracovního pohybu nástroje na pozici č. 1 [18].

Doporučené řezné podmínky pro nástroj č. 1 [18]:

- řezná rychlost $v_c = 195-290 \text{ m.min}^{-1}$
- posuv na otáčku $f_{ot} = 0,20-0,40 \text{ mm}$
- šířka záběru ostří $a_p = 0,8-4,5 \text{ mm}$

Nástroj č. 2:

Soustružnický nůž levý

Dokončovací operace

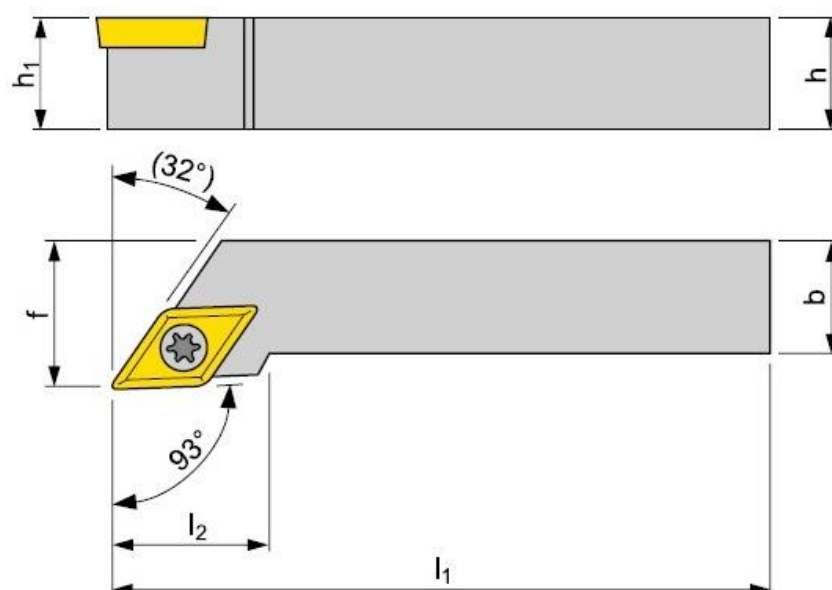
Nástrojový držák: **SDJCL 2020 K 11**

Břitová destička: **DCMT 11T304 E-UR**

Výrobce: **Pramet Tools, s.r.o.**



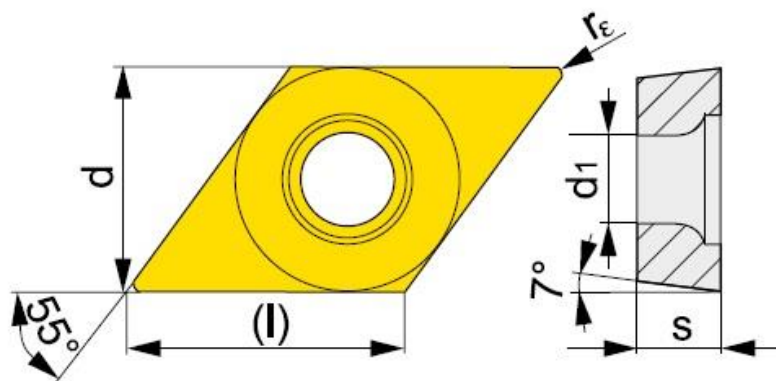
Obr. 17 Soustružnický nůž pravý [18].



Obr. 18 Schéma nástrojového držáku na pozici 2 [18].

Tab. 4: Rozměry nástrojového držáku na pozici 2 [18].

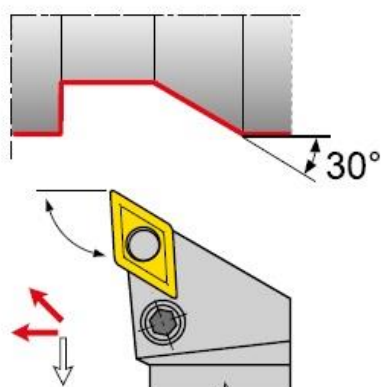
ISO	Rozměry [mm]				
	$h=h_1$	b	f	l_1	l_{2max}
SDJCL 2020 K 11	20	20	25	125	20



Obr. 19 Schéma výměnné břitové destičky pro nástroj č. 2 [18].

Tab. 5: Rozměry výměnné břitové destičky pro nástroj č. 2 [18].

ISO	Rozměry [mm]				
	r_ϵ	(l)	d	d_1	s
DCMT 11T304 E-UR	0,4	11,6	9,525	4,40	3,97



Obr. 20 Schéma pracovního pohybu nástroje na pozici č. 2 [18].

Doporučené řezné podmínky pro nástroj č. 2 [18]:

- řezná rychlost $v_c = 290-320 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- posuv na otáčku $f_{ot} = 0,05-0,15 \text{ mm}$
- šířka záběru ostří $a_p = 0,4-2 \text{ mm}$

Nástroj č. 3:

Soustružnický nůž závitový

Soustružení vnějších závitů

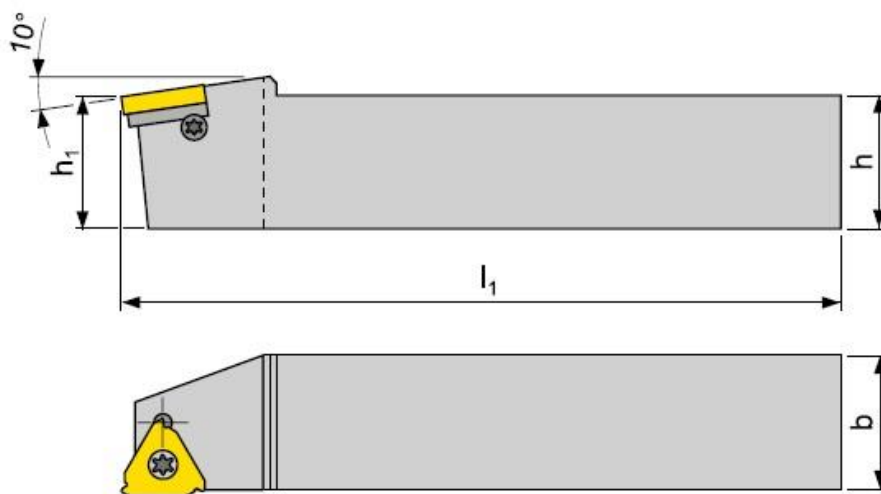
Nástrojový držák: **SEL 2020 K 16**

Břítová destička: **TN 16 EL 200M**

Výrobce: **Pramet Tools, s.r.o.**



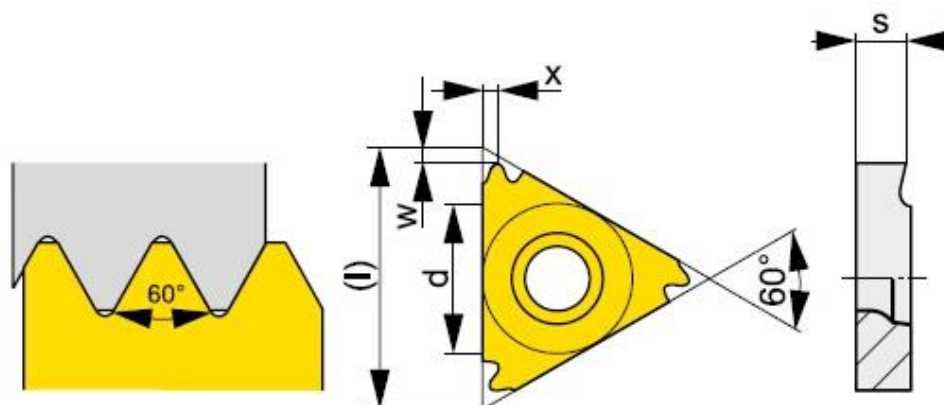
Obr. 21 Závitový nůž [18].



Obr. 22 Schéma nástrojového držáku na pozici 3 [18].

Tab. 6: Rozměry nástrojového držáku na pozici 3 [18].

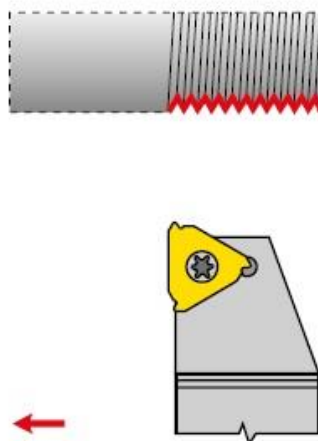
ISO	Rozměry [mm]		
	$h=h_1$	b	l_1
SEL 2020 K 16	20	20	125



Obr. 23 Schéma výměnné břitové destičky pro nástroj č. 3 [18].

Tab. 7: Rozměry výměnné břitové destičky pro nástroj č. 3 [18].

ISO	Rozměry [mm]				
	(l)	d	s	x	w
TN 16 EL 200M	16,5	9,525	3,47	1,40	1,30



Obr. 24 Schéma pracovního pohybu nástroje na pozici 3 [18].

Doporučené řezné podmínky pro nástroj č. 3 [18]:

- řezná rychlost $v_c = 135-165 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Pro požadovaný úhel naklopení břitové destičky $\lambda=1,5^\circ$ je použita podložka PI16+1,8 [18].

Nástroj č. 4:RADECO čtvercové

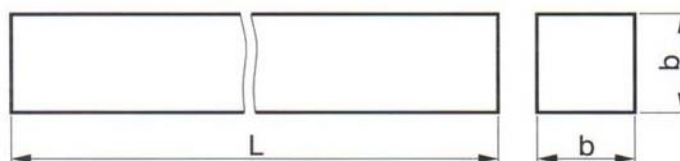
Soustružení mazací drážky

ČSN 22 3690 HSS

Výrobce: POLDI s.r.o.



Obr. 25 Polotovar nože RADECO [19].



Obr. 26 Schéma nástroje na pozici 4 [19].

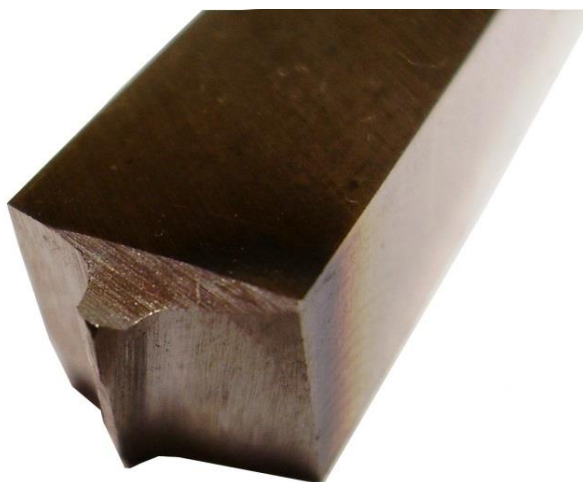
Tab. 8: Rozměry nástroje na pozici 4 [19].

ISO	Rozměry [mm]	
	b	L
23 3690 20x20	20	160

Doporučené řezné podmínky pro nástroj č. 4 [20]:

- řezná rychlost $v_c = 10\text{--}25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

RADECO je vybroušeno na požadovaný tvar drážky (viz obr. 27). Mazací drážka může být tedy vyráběna soustružením jako výroba závitu s velkou roztečí (viz obr. 28). Tato změna technologie umožňuje podstatně rychlejší výrobu mazací drážky a je tak plně nahrazeno pracoviště 2.2.1, kde je drážka vyráběna pomocí frézovací operace.



Obr. 27 Tvar vybroušeného RADECA pro výrobu drážky.



Obr. 28 Mazací drážka vyrobená soustružením.

Nástroj č. 5:Monolitní vrták TK 3D

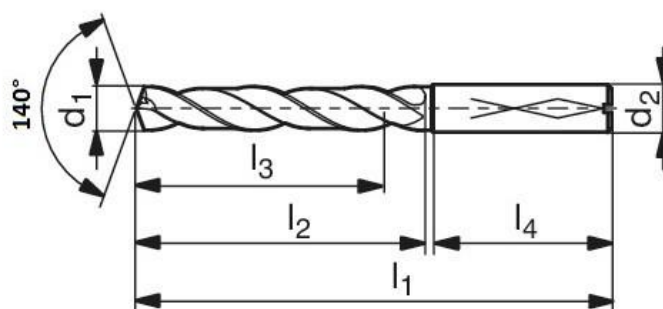
Navrtávací operace

DIN 6535 UNI HA Ti 700

Výrobce: WNT s.r.o.



Obr. 29 Vrták 3D [21].



Obr. 30 Schéma nástroje na pozici 5 a 6 [21].

Tab. 9: Rozměry nástroje na pozici 5 [21].

DIN	Rozměry [mm]					
	d_1 (m7)	d_2 (h6)	l_1	l_2	l_3	l_4
6535 HA	9	10	89	47	35	40

Doporučené řezné podmínky pro nástroj č. 5 [21]:

- řezná rychlost $v_c = 125 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- posuv na otáčku $f_{ot} = 0,28 \text{ mm}$

Jedná se o vrták vhodný pro navrtávání. Pro snížení opotřebení následujícího nástroje je tímto vrtákem provedeno předvrtání díry až do hloubky 20 mm.

Nástroj č. 6:Monolitní vrták TK 12D

Vrtání do plné délky 100mm

DIN 6535 4F HA Ti 700

Výrobce: WNT s.r.o.



Obr. 31 Vrták 12D [21].

Tab. 10: Rozměry nástroje na pozici 6 [21].

DIN	Rozměry [mm]					
	d_1 (m7)	d_2 (h6)	l_1	l_2	l_3	l_4
6535 HA	9	10	162	120	110	40

Doporučené řezné podmínky pro nástroj č. 6 [21]:

- řezná rychlost $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- posuv na otáčku $f_{ot} = 0,25 \text{ mm}$

U vrtáků s vnitřním chlazením je zapotřebí požit speciální kleštinové upínače dle normy DIN 69871 umožňující přívod chladicí kapaliny středem vřetene nástroje. Výrobce těchto kleštinových upínačů je např. společnost NAREX MTE s.r.o. [22]

Nástroj č. 7:Záhlubník kuželový 90°

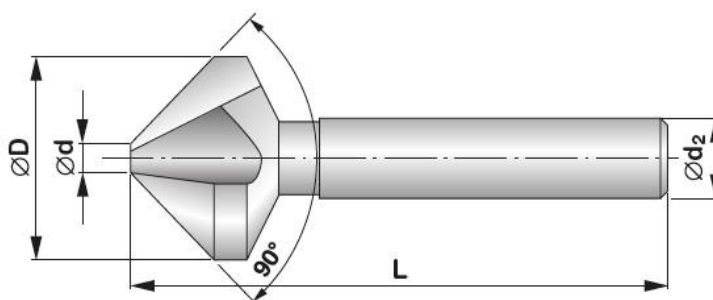
Sražení vnitřní hrany

DIN 335 C HSS

Výrobce: M&V s.r.o.



Obr. 32 Záhlubník kuželový [23].



Obr. 33 Schéma nástroje na pozici 7 [24].

Tab. 11: Rozměry nástroje na pozici 7 [24].

ČSN	Rozměry [mm]			
	D	d	d ₂	L
ZVSE 221625	15	3,2	10	60

Doporučené řezné podmínky pro nástroj č. 6 [24]:

- řezná rychlost $v_c = 20-25 \text{ m.min}^{-1}$
- posuv na otáčku $f_{ot} = 0,12 \text{ mm}$

Nástroj č. 8:

Strojní závitník

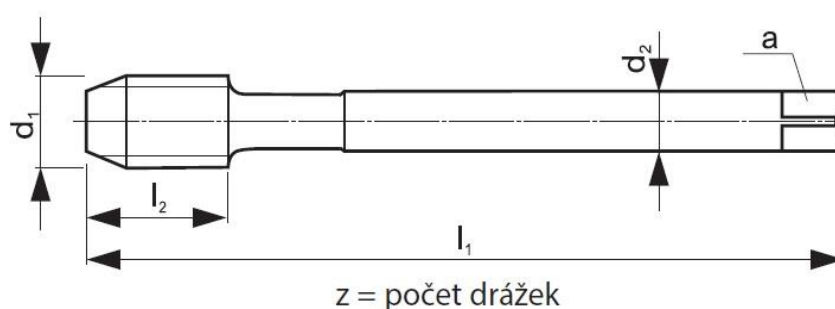
Výroba vnitřního závitu

DIN 376-4050 HSSE

Výrobce: Narex s.r.o.



Obr. 34 Strojní závitník [25].



Obr. 35 Schéma nástroje na pozici 8 [25].

Tab. 12: Rozměry nástroje na pozici 8 [25].

DIN	Rozměry [mm]					
	d ₁	l ₁	l ₂	d ₂	a	z
376-4050	M 10	90	12	7	5,5	3

Doporučené řezné podmínky pro nástroj č. 8 [25]:

- řezná rychlost $v_c = 10-15 \text{ m.min}^{-1}$

S ohledem na automatický a nepřerušovaný výrobní cyklus CNC stroje je pro výrobu vnitřního závitu zvolen strojní závitník se šroubovou drážkou, která zajišťuje lepší odvod třísek z místa řezu. Je však možné ponechat i původní strojní závitník s přímou drážkou, který je ve firmě nyní používán.

3.3 Frézování rovinných ploch na hlavě čepu

U nově navržené výroby s využitím zvoleného typu CNC soustruhu SP 180 je výroba rovinných ploch na hlavě čepu prováděna na druhém pracovišti pomocí již zavedené frézky FH2a (viz obr. 36). Přesto že se jedná o starší konvenční obráběcí stroj, tak s ohledem na počet čepů, které tyto frézovací operace vyžadují, je tato technologie stále vyhovující. Výroba rovinných ploch na hlavě čepu tedy zůstává nezměněna. Tyto frézovací operace jsou prováděny dělníkem souběžně s poloautomatickým výrobním cyklem CNC soustruhu a jedná se o tzv. více strojovou obsluhu.



Obr. 36 Horizontální frézka FH2a [26].

Technické informace o stroji [26]:

- výkon motoru: 4 kW
- otáčky vřetena: 30-1000 min⁻¹
- strojní posuv: - podélný: 10-790 mm.min⁻¹
 - příčný: 10-790 mm.min⁻¹
 - svislý: 6-490 mm.min⁻¹

Používané nástroje [27]:

Fréza kotoučová polohrubozubá

D125x14x40 HSSE

DIN 885 (viz obr. 37)



Obr. 37 Fréza kotoučová [27].

3.4 Vrtání spojovacího otvoru Ø 4 mm

Technologie výroby spojovacího otvoru rovněž zůstala nezměněna. Vrtací operace jsou tedy prováděny na dalším pracovišti pomocí sloupové vrtačky VS 32 B (viz obr. 38).



Obr. 38 Sloupcová vrtačka VS 32 B [28].

Technické informace o stroji [29]:

- výkon motoru: 2,2 kW
- otáčky vřetena: 56-2240 min⁻¹
- max. průměr vrtání: 32 mm

Používané nástroje [30]:

Šroubovitý vrták s válcovou stopkou

střední řada D4x75/43 HSS

DIN 338 (viz obr. 39)



Obr. 39 Šroubový vrták D4x75/43 [30].

3.5 Zušlechťování materiálu

Stávající technologii úpravy povrchu není potřeba inovovat. S ohledem na výrobní koncept dané firmy je tato technologie plně dostačující. Podrobněji je tato problematika tedy popsána již v kapitole 2.4.

3.6 Dokončovací operace – broušení

U dokončovacích operací zůstává technologie broušení opět nezměněna. Z důvodů ekonomické efektivnosti, kam je řazena především produktivita,

provozní a pořizovací náklady, mají oba typy brusek pro danou firmu stále velké uplatnění. Broušení čepů a hřídelí na bezhrotých bruskách (viz obr. 40) je považováno za nejproduktivnější formu broušení. Univerzální hrotová bruska BUA 16 (viz obr. 41) je naopak vhodná pro broušení menších ploch např. u osazených čepů nebo hřídelí, kde by bylo obtížné nebo nemožné zajistit aretaci součásti pro využití bezhrotého broušení. [11]



Obr. 40 Bezhrotá bruska BB 6 [31].



Obr. 41 Bruska BUA 16 [32].

Technické informace o stroji bruska BB 6 [33]:

- výkon motoru: 16 kW
- min. brousící průměr: 1,5 mm
- max. brousící průměr: 63 mm

Technické informace o stroji bruska BUA 16 [34]:

- výkon motoru: 1,1 kW
- vzdálenost mezi hroty: 250 mm
- max. brousící průměr: 160 mm

Používané nástroje [35]:

Brousící kotouč

400x205x200 pro brusku BB6

250x25x70 pro brusku BUA 16

99BA 80 K 9 V C40

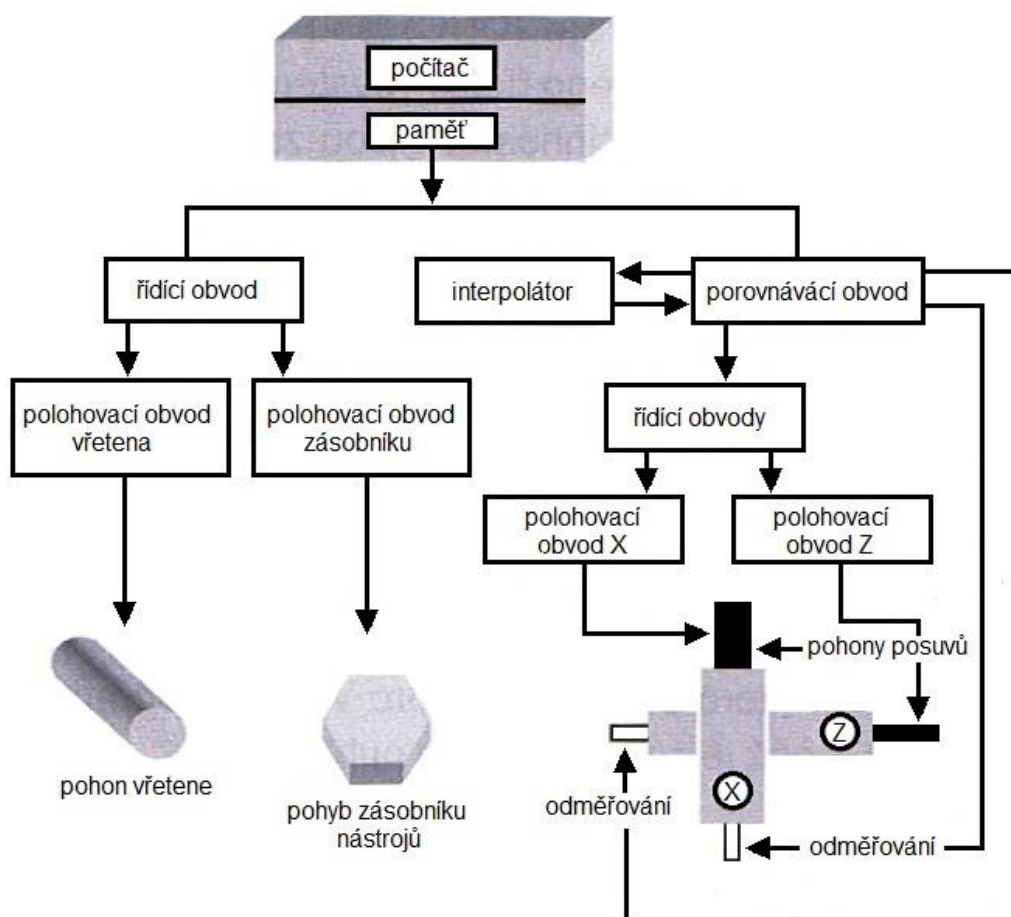
Procesní kapalina: PARAMO ERO-SB, poměr 1:40



Obr. 42 Brousící kotouč [36].

4 METODY PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

Veškeré ovládání CNC strojů je zajištěno řídicím systémem pomocí tzv. NC programu. NC program je tvořen prostřednictvím kódovaných informací, příkazů a různých funkcí, které řídicí systém převádí na požadované úkony stroje, jako jsou pohyby rezného nástroje, nastavení rezných podmínek, výměna nástrojů atd. (viz obr. 43). [37]



Obr. 43 Schéma CNC obráběcího stroje a jeho řízení [37].

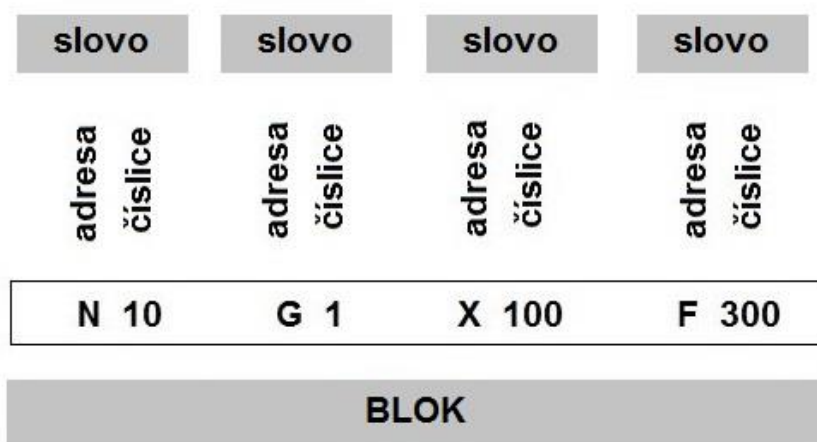
S ohledem na poloautomatický nebo zcela automatický chod CNC stroje není výroba ovlivněna tzv. lidským faktorem, jako je tomu u konvenčních strojů, ale je závislá především na kvalitě vytvořeného NC programu. Programování je realizováno prostřednictvím speciálního komunikačního panelu, kterým je každý CNC stroj vybaven, nebo probíhá externě na pracovištích vybavených počítačovými stanicemi. Přenos takto vytvořeného NC programu do stroje je zajištěn pomocí nejrůznějších paměťových médií, jako jsou např. flash disky nebo různé paměťové karty. [2]

Z pohledu tvorby NC programu se setkáváme se třemi základními metodami programování [2, 37]:

- ISO programování,
- dílensky orientované programování,
- programování s využití CAD/CAM technologie.

4.1 ISO programování

ISO programování (nazýváno rovněž programování v G-kódu) lze brát jako nejuniverzálnější metodu programování. NC program je tvořen jednotlivými bloky, neboli řádky, které jsou složeny z alfanumerických znaků a dalších symbolů. Každý blok vyjadřuje jeden krok v postupu výroby dané součásti. Tyto bloky můžeme pro přehlednost rozdělit na jednotlivá slova, která jsou složena z adresné a numerické části (viz obr. 44). [1, 2, 38]



Obr. 44 Formát bloku [1].

Z důvodů snadnější orientace v daném programu je doporučeno řídit se dle normy DIN 66025, která udává obecný formát bloku ve tvaru [2]:

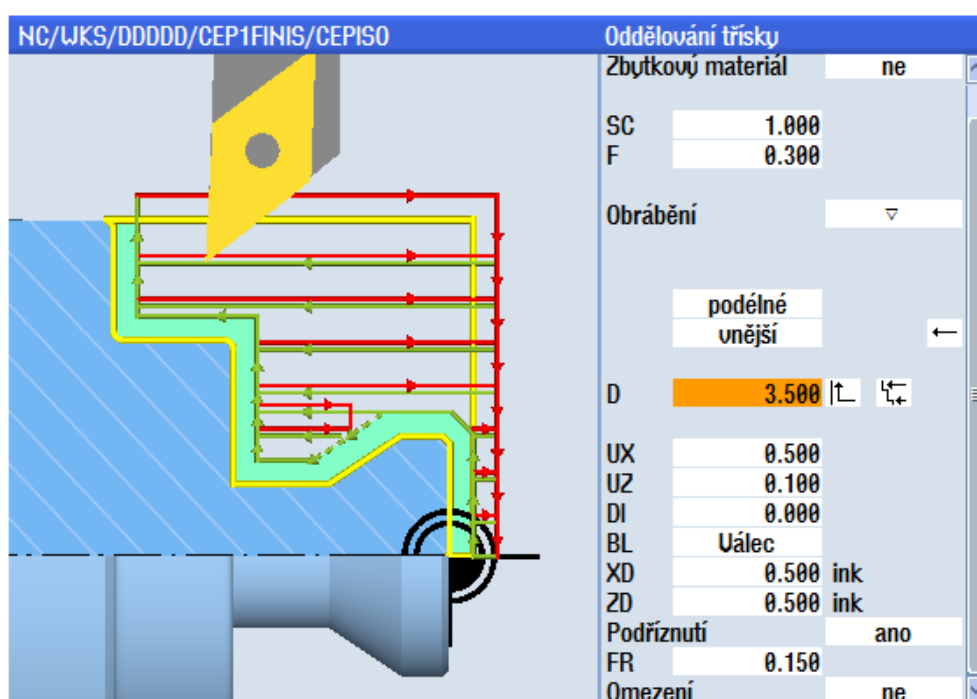
N... G... X... Y... Z... F... S... T... D... M... H...

Tab. 13 Význam adresových znaků v obecném formátu bloku (ŘS Sinumerik 840D) [2].

Adresa	Význam
N	adresa čísla bloku
G	podmínka dráhy
X,Y,Z	Informace o dráze
F	posuv
S	otáčky
T	nástroj
D	korekční hodnoty nástroje
M	doplňková funkce
H	pomocná funkce

Jednotlivé adresové znaky je možno dále rozdělit na základní, přípravné a pomocné funkce (viz příloha 1). [1, 2]

ISO programování je považováno za zdoluhavý způsob tvorby NC programu, který se často neobejde bez chyb způsobených lidským faktorem. Vytvořené programy je tedy zapotřebí zkontrolovat formou grafické simulace, kterou zpravidla každý řídicí systém umožňuje. Pro částečné odstranění těchto chyb a pro zefektivnění NC programu se často využívají tzv. cykly, které umožňují nahlížení na obrábění součásti jako na tvorbu technologického celku. Při programování např. hrubovací operace tak není potřeba zdoluhavě definovat elementární úkony pomocí jednotlivých bloků, ale stačí pouze definovat konturu požadovaného tvaru součásti a vyvolat daný cyklus. Řezné podmínky jako je posuv, šířka záběru ostří atd. se vyplňují přímo v dialogovém okně daného cyklu (viz obr. 45). [1, 2, 37, 39]



Obr. 45 Dialogové okno hrubovacího cyklu [40].

Tab. 14 Přehled základních soustružnických cyklů (ŘS Sinumerik 840D) [2].

Název cyklu	Význam cyklu
CYCLE 93	zapichovací cyklus
CYCLE 94	zápich tvaru E a F podle DIN
CYCLE 95	odběr třísky
CYCLE 96	zápich tvaru A, B, C a D pro závity podle DIN
CYCLE 97	řezání závitů
CYCLE 98	řetězení závitů

Značení jednotlivých cyklů a adresových znaků se může s různými druhy řídicích systémů lišit. Použití a systém programování však zůstává obdobný.

4.2 Dílensky orientované programování

Dílensky orientované programování slouží pro tvorbu NC programu přímo na komunikačním panelu obráběcího stroje bez nutnosti znalostí struktury a posloupnosti jednotlivých bloků ISO programování. Jedná se tedy o výrazně zjednodušenou metodu tvorby NC programu, která navíc obdobně jako používání cyklů u ISO programování zabraňuje vzniku chyb způsobených lidským faktorem. Pomocí tohoto typu programování lze tedy i v rušném provozu dílen rychle a efektivně programovat obrábění nejrozličnějších typů součástí přímo podle technického výkresu. [2, 37]

Dílensky orientované programování je založeno na principu vyplňování jednotlivých tabulek, které odpovídají požadovanému pracovnímu úkonu stroje. Dané tabulky jsou poté řídicím systémem automaticky přeloženy a je tak vytvořena struktura programových bloků (viz obr. 46). [2]

NC/WKS/EXAMPLE3/EXAMPLE3			
P	N10	Program header	Cylinder G54
G	;Example by Turning made easy with ShopTurn		
G	;Example 3 : Guide shaft		
L	N20	Stock removal	T=ROUGHING_T80 A F0.25/rev U=240m
U	N30	Blank	GUIDE_SHAFT_BLANK
U	N40	Fin. part	GUIDE_SHAFT_CONTOUR
L	N50	Stock removal	T=ROUGHING_T80 A F0.3/rev U=260m
L	N60	Residual cutting	T=BUTTON_TOOL_8 F0.2/rev U=240m
L	N70	Stock removal	T=FINISHING_T35 A F0.12/rev U=280m
L	N80	Groove	T=PLUNGE_CUTTER_3 A F0.1/rev U=150m
L	N90	Thread long.	T=THREADING_1.5 P1.5mm/rev S=800rev
L	N100	Drilling	T=DRILL_5 F0.06/rev U=140m Z1=10inc
L	N110	001: Positions	Z0=0 X0=16 Y0=0 X1=0 Y1=-16 X2=-16
L	N120	Rectang.pocket	T=CUTTER_8 F0.03/t U=220m X0=0 Y0=0
T	N130	T=0	
END	End of program		

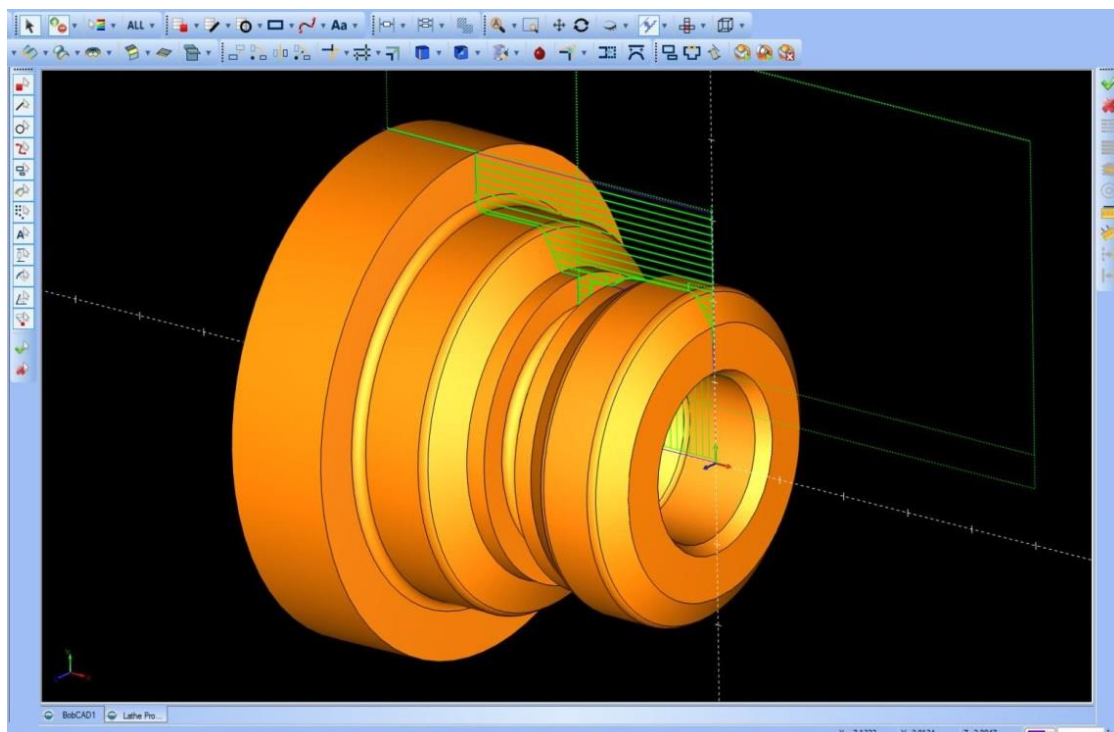
Obr. 46 Dílensky orientované programování [40].

NC program vytvořený touto metodou programování je zpravidla přehlednější a kratší, než NC program tvořený základním ISO programováním.

4.3 Programování pomocí CAD/CAM technologie

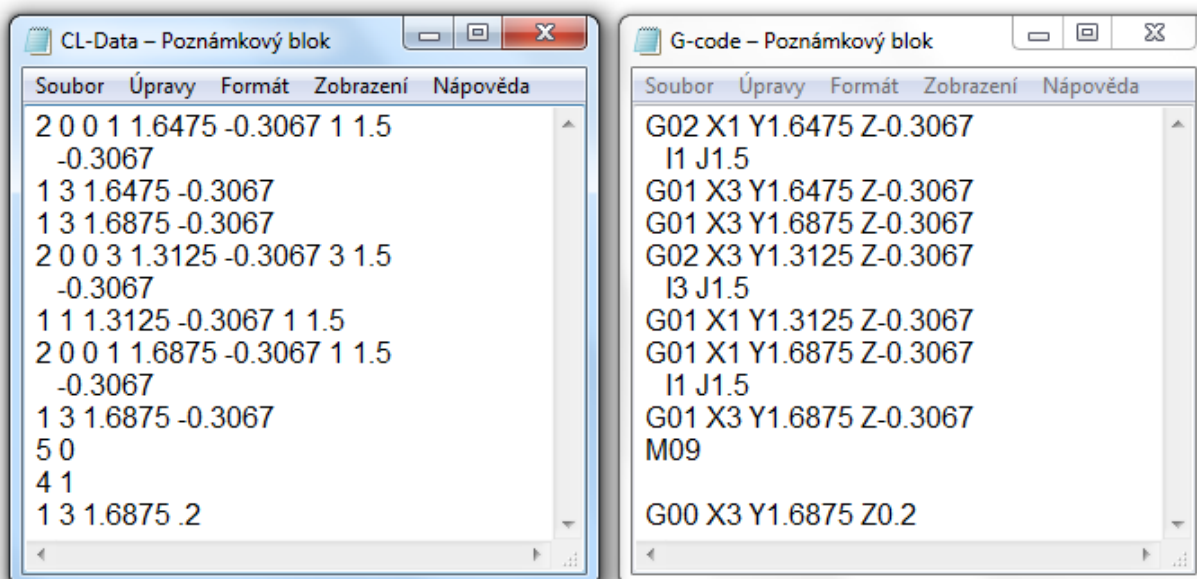
CAD/CAM technologie je využívána u programování především tvarově složitějších součástí u kterých by byla tvorba programu pomocí dříve uvedených metod obtížná nebo zdlouhavá. Vyráběná součást je nejprve vymodelována v CAD softwaru (např. SolidWorks, CATIA atd.). Výstupem této činnosti je 2D

výkres nebo 3D model, ke kterému je v prostředí CAM (např. PowerMILL, Delcam FeatureCAM atd.) vytvořena dráha řezných nástrojů (viz obr. 47). [2, 37]



Obr. 47 Prostředí CAM softwaru BobCAD V25 [41].

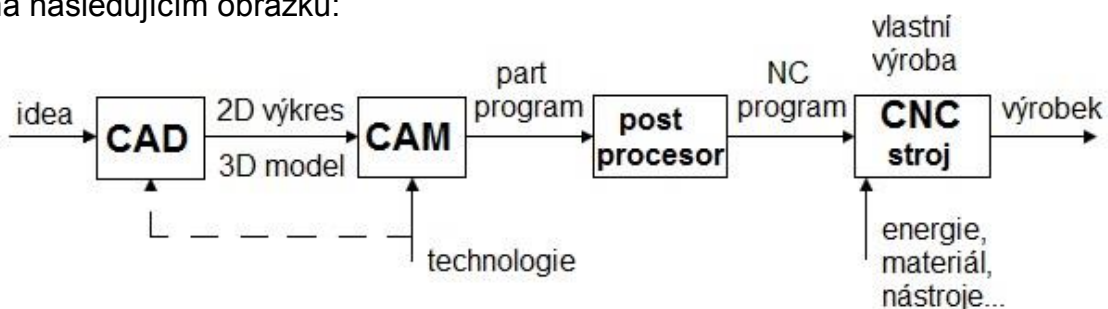
Výstupem z CAM softwaru je zpravidla kód (tzv. CL data viz obr. 48), který je nutno přeložit do formátu řídicího systému obráběcího stroje (operace označovaná jako postprocessing).



Obr. 48 CL data (vlevo) a odpovídající G-kód (vpravo) [42].

Tímto procesem je vytvořen konečný NC program, který je následně přenesen do obráběcího stroje pomocí flash disku nebo jiného paměťového média. Veškeré řezné podmínky, volba nástroje a další doprovodné volby jsou zadávány již v CAM softwaru. [2, 37]

Výroba součásti s využitím CAD/CAM technologie je znázorněna na následujícím obrázku:



Obr. 49 Schématické znázornění výroby pomocí CAD/CAM technologie [43].

Mezi výhody používání CAD/CAM technologie můžeme zařadit rychlejší tvorbu NC programu zejména díky modelům nebo výkresům, které jsou často vyhotoveny již před zadáním součásti do výroby a přesné vytvoření požadovaných drah řezného nástroje díky počítačovému zpracování daného modelu. Mezi nevýhody lze zařadit vyšší pořizovací cenu potřebného softwaru a náklady na zaškolení obsluhy, které tyto programy vyžadují. [38, 44]

5 ZAČLENĚNÍ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU SINUMERIK MEZI OSTATNÍ PROGRAMOVACÍ PROSTŘEDÍ A METODY

V současné době se díky výraznému rozvoji a využívání CNC obráběcích strojů můžeme setkat s celou řadou nejrůznějších řídicích systémů. Mezi nejrozšířenější programovací prostředí v ČR lze zařadit řídicí systémy Sinumerik, FANUC a Heidenhain.

5.1 Řídicí systémy Sinumerik

Řídicí systémy Sinumerik jsou využívány u širokého spektra výrobních strojů – od základních CNC soustruhů nebo vrtaček vykonávajících jednoduché operace až po modulární obráběcí centra. Společnost Siemens AG, která stojí za produkcí tohoto typu řídicího systému, uvedla první NC systém v roce 1960. Jednalo se o vůbec první provozně použitelný systém pro číslicové řízení obráběcích strojů. Za více než 50 let vývoje si tato společnost upevnila svoji pozici na čele v oblasti CNC techniky a v dnešní době jsou tyto řídicí systémy využívány v celé řadě výrobních podniků po celém světě. Mezi průmyslová odvětví, u kterých mají řídicí systémy Sinumerik svoji nezastupitelnou roli, lze řadit především automobilový průmysl, letectví a medicínskou techniku. [45, 46, 47]

Společnost Siemens rozděluje řídicí systémy do několika produktových řad, které se od sebe liší především výkonností, počtem řízených os a dalšími modulárními možnostmi programování.

SINUMERIK 802

Jedná se o plnohodnotné řídicí systémy určené pro jednodušší a méně náročnější stroje s ovládáním až 5 os (4 osy a jedno vřetenno nebo 3 osy, jedno vřetenno a pomocné vřetenno pro rotační nástroje). Tato produktová řada je vhodná především pro malosériovou výrobu a mezi její výhody patří jednoduchá obsluha a programování, vysoká spolehlivost, jednoduché nastavení nástrojů a obrobku, pasivní chlazení a bezbateriový provoz. Tento řídicí systém je dle dalších modulárních možností programování dále rozdělen na tři verze 802C, 802S a 802D sl. [48, 49]

SINUMERIK 808

Tato produktová řada je vyvinuta pro technologii soustružení a frézování a umožňuje programování až 4 os. Rozsah vhodné aplikace sahá od základních standardizovaných soustruhů a frézek až po jednodušší obráběcí centra. Mezi výhody této produktové řady lze zařadit jednoduché uvedení stroje do provozu a přehledné uživatelské rozhraní řídicího systému. [50, 51, 52]

SINUMERIK 828

Řídicí systém této produktové řady je opět určen pro technologii soustružení a frézování a umožňuje ovládání až 8 os. Je tedy využíván především u složitějších obráběcích center rozšířených o další řízené osy, jako jsou protivřetena, poháněné nástroje atd. Tato produktová řada je dále rozdělena na další tři verze 828D BASIC T, 828D BASIC M a 828D. Rozdíl mezi těmito jednotlivými produktovými řadami je opět v odlišných modulárních možnostech programování. [50, 53, 54]

SINUMERIK 840

Tato produktová řada umožňuje řízení až 31 os nebo vřeten a je vhodná pro střední a vyšší výkonový rozsah. Lze ji uplatnit téměř pro všechny technologické a pracovní činnosti, jako je soustružení, frézování, vrtání, broušení, děrování, zpracování dřeva a skla, laserová technologie, niblování, vysekávání, vysokorychlostní obrábění, výroba nástrojů a forem atd. Tento řídicí systém je často používán jak na strojích, které využívají jednoduché polohovací úkony, tak i na obráběcích centrech, na kterých jsou uplatňovány složité obráběcí funkce a komplexnější víceosé programování. Mezi výhody této produktové řady patří vysoký výkon, modularita, otevřenost, flexibilita a jednotná struktura při obsluze a programování. Podle modulárních možností programování je tato řada opět rozdělena na dvě verze 840D a 840D sl. [45, 48, 50, 55]

5.2 Řídicí systémy FANUC

Společnost GE Fanuc byla založena v roce 1956 jako společný podnik firem General Electric Co., USA a FANUC Ltd, Japonsko. S více než 2,4 miliónů prodaných řídicích systému pro CNC stroje se společnost GE Fanuc řadí mezi největší světové výrobce řídicích systémů. Mezi přednosti těchto řídicích systémů patří vysoká spolehlivost a přesnost, jednoduchá obsluha, snadná údržba, modularita a otevřenost. [56, 57, 58]

Produkty společnosti GE Fanuc zahrnují jak systémy pro základní obráběcí stroje, vykonávající jednoduché operace, tak i komplexní systémy pro složitá a náročná obráběcí centra. Pro přehlednost jsou tedy jednotlivé řídicí systémy, obdobně jako u společnosti Siemens, rozděleny do dvou sérií v závislosti na počtu řízených os, výkonnosti a dalších modulárních možnostech programování. [58]

SÉRIE 30i/31i/32i

Tato série řídicích systémů je vyznačována největší výkonností, vysokou přesností a spolehlivostí, snadnou obsluhou a jednoduchou údržbou. Je

umožněno řízení až 40 os a z toho může až 24 os současně interpolovat. Tyto řídicí systémy jsou využívány pro komplexní a složité obrábění. Díky 8 MB vnitřní paměti programu jsou rovněž vhodné pro delší programy, jako je např. výroba nástrojů pro vstřikovací stroje atd. [59]

SÉRIE 0/0i

Jedná se o nejrozšířenější sérii řídicích systémů, která umožňuje programování až 11 os. Daná série je určena pro technologii soustružení, frézování a vrtání. Výhodou těchto řídicích systémů je jednoduché programování a obsluha, minimální požadavky na školení, rozšířená funkce nápovědy a podpora pokročilých funkcí jako je kontrola trhu, nano hlazení atd. [60]

5.3 Řídicí systémy Heidenhain

Společnosti Heidenhain se začala zabývat problematikou číslicového řízení obráběcích strojů v roce 1968. Dnes má tato firma zastoupení ve více než 50 zemích a je tak rovněž řazena mezi hlavní výrobce řídicích systémů. [61, 62]

Firma Heidenhain striktně odlišuje svoje produkty pro technologii soustružení a frézování. Řídicí systémy jsou tak opět rozděleny do tří odlišných produktových řad v závislosti na požadované technologii a možnostech programování.

TNC 620/320/128, iTNC 530

Tyto řídicí systémy jsou určeny pro technologii frézování a vyvrtávání. Umožňují řízení strojů až s 18 osami a jsou tak vhodné pro všechny aplikace od jednoduchého vrtání až po frézování složitějších kontur. [63, 64]

MANUALplus 620

Jedná se o řídicí systém určený pro technologii soustružení umožňující i konvenční manuální obrábění. Je navržen pro soustruhy s modulárním provedením v podobě jednoho vřetena, jednoho suportu (X a Z osa), C osy nebo polohovatelného vřetena a poháněných nástrojů. [65]

TNC 640

Tento řídicí systém jako jediný umožňuje programování soustružnických i frézovacích operací. S možností programování až 18 os je tento řídicí systém využíván především u komplexních obráběcích center. Jedná se o nejnovější a nejuniverzálnější řídicí systém od společnosti Heidenhain. [66]

6 NC PROGRAM PRO VÝROBU SOUČÁSTI

NC program byl vytvořen pro řídicí systém Sinumerik v programu SinuTrain Operate V4.5 od společnosti Siemens AG. Velkou výhodou využívání těchto řídicích systémů je možnost bezplatného odzkoušení daných programů v 60 denních zkušebních verzích, které firma Siemens poskytuje. SinuTrain Operate V4.5 je nejnovější dostupná verze systému nabízená od června roku 2013. Oproti předešlým verzím tento systém nabízí především vylepšenou grafickou podporu simulací a tzv. dialogových oken využívaných u cyklů a dílenského programování formou podrobnějších informativních animací. Daný systém nabízí rovněž vyšší rozlišení SXGA 1280x1024 pixelů a inovované cykly využívané u ISO programování. [67, 68]

Při tvorbě NC programu bylo využito ISO programování a základních soustružnických cyklů jako je odběr třísky, řezání závitů a vrtací operace. S ohledem na výrobní postup byly vytvořeny dva nezávislé NC programy.

6.1 NC program pro výrobu 1. strany čepu

NC program pro výrobu 1. strany čepu lze rozdělit na 3 hlavní soustružnické úseky:

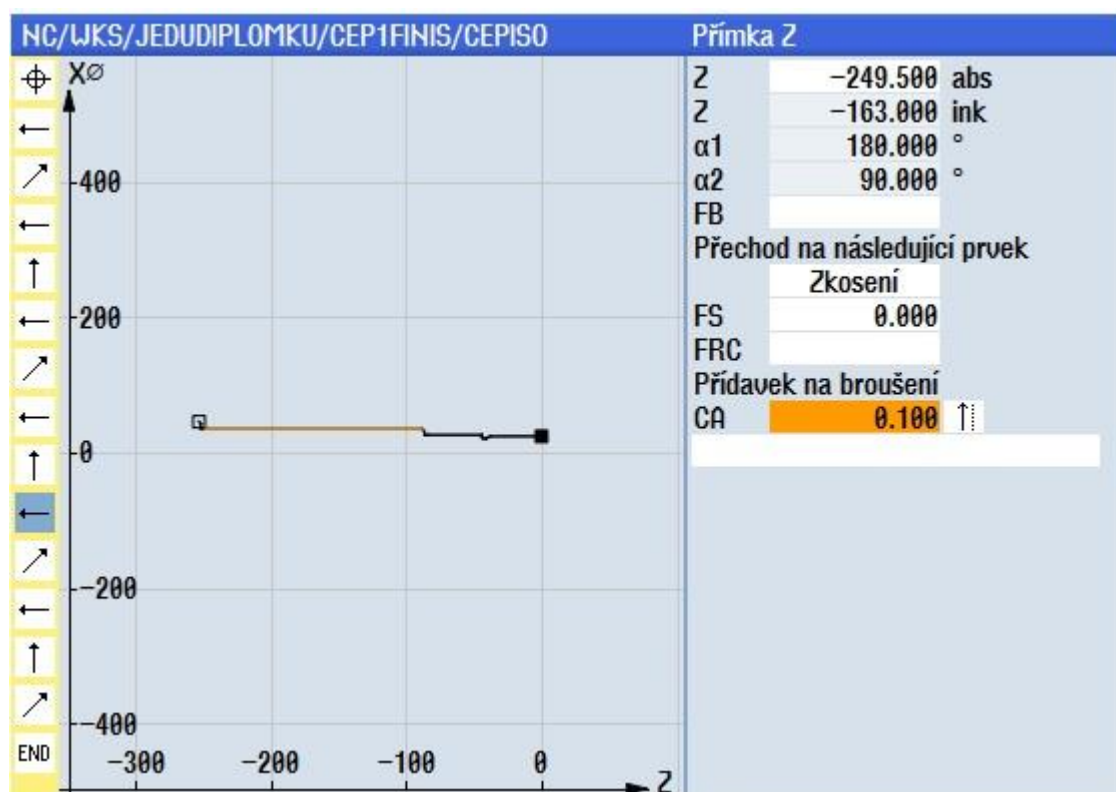
- soustružení základního tvaru čepu,
- výroba závitů M24x2-6h ČSN ISO 724,
- výroba speciální mazací drážky.

6.1.1 Soustružení základního tvaru čepu

Základním prvkem při výrobě 1. strany čepu je nadefinování požadovaného výsledného tvaru neboli tzv. kontury, podle které budou probíhat jednotlivé soustružnické operace pomocí zvolených cyklů. Tvorba kontury spočívá ve vymezení elementárních geometrických prvků, ze kterých se daný výrobek skládá. Při tvorbě těchto jednotlivých prvků lze v rozšířených možnostech přímo definovat přídavek na broušení u požadovaného průměru (viz obr. 50). Tato možnost tedy usnadňuje případné budoucí úpravy daného rozměru – není potřeba opravovat jednotlivé části kontury, ale stačí pouze přepsat hodnotu CA a kontura bude automaticky předefinována. Tento parametr neurčuje průměrový přídavek, ale pouze tzv. přidanou hodnotu vpravo od kontury. Při požadovaném přídávku na broušení např. 0,2 mm na průměr je tedy potřeba zadat poloviční hodnotu 0,1 mm atd. V rozšířených možnostech lze rovněž definovat i posuv vztažený přímo na jednotlivý úsek kontury (hodnota FB viz obr. 50). Při obrábění lze tedy měnit požadovaný posuv u jednotlivých ploch bez ohledu na hodnotu posuvu zadanou pro celý soustružnický cyklus. Tuto možnost lze využít např. při odlišných

požadavcích na kvalitu jednotlivých ploch. Pokud se na součásti vyskytuje např. plocha, která může dosahovat větších drsností, lze u soustružení dané plochy např. zvýšit posuv a korigovat tak výrobní čas atd.

Na 1. straně čepu se vyskytují i hrany, které nemají sražení. Díky přesnějšímu obrábění, které umožňuje využití CNC soustruhu, je u těchto hran nadefinován rádius 0,1 mm za účelem odjehlení hran.



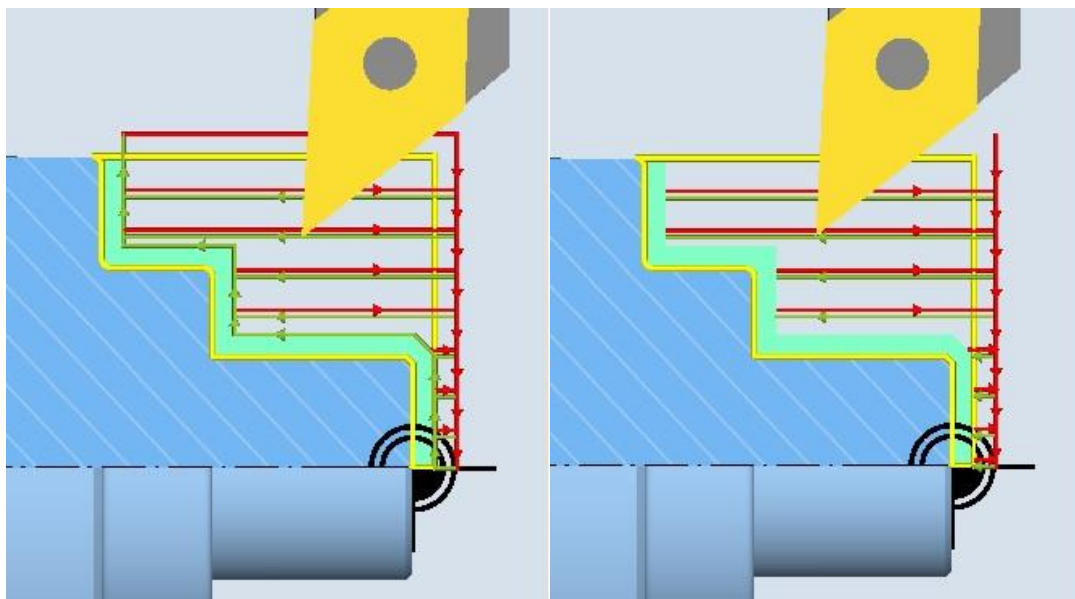
Obr. 50 Tvorba kontury čepu [40].

Po vytvoření kontury dané součásti je využito dvou soustružnických cyklů pro odběr třísky (CYCLE 95). První cyklus je určen pro hrubovací operace (viz obr. 45). Tento cyklus je definován parametry uvedenými v následující tabulce.

Tab. 15 Parametry hrubovacího cyklu [40].

Zkratka	Význam
SC	bezpečná vzdálenost
F	posuv
D	maximální hloubka třísky
UX, UZ	přídavek na dokončení v ose X, Z
DI	průchod nástroje
BL	definice polotovaru
XD, ZD	výrobní tolerance polotovaru v ose X, Z
FR	posuv při zajíždění do podříznutí

Při definování hrubovacího cyklu je mimo základních parametrů, které jsou uvedeny v tabulce 15, možnost určit i způsob úběru třísky (viz obr. 51). Na výběr je zde obrábění s pohybem podél kontury, kdy nástroj rovněž částečně vyhlazuje plochu vzniklou předešlým úběrem a obrábění bez pohybu podél kontury. Tento způsob úběru třísky může v konečném důsledku být rychlejší, avšak není dosaženo tak kvalitních ploch jako u prvního způsobu.

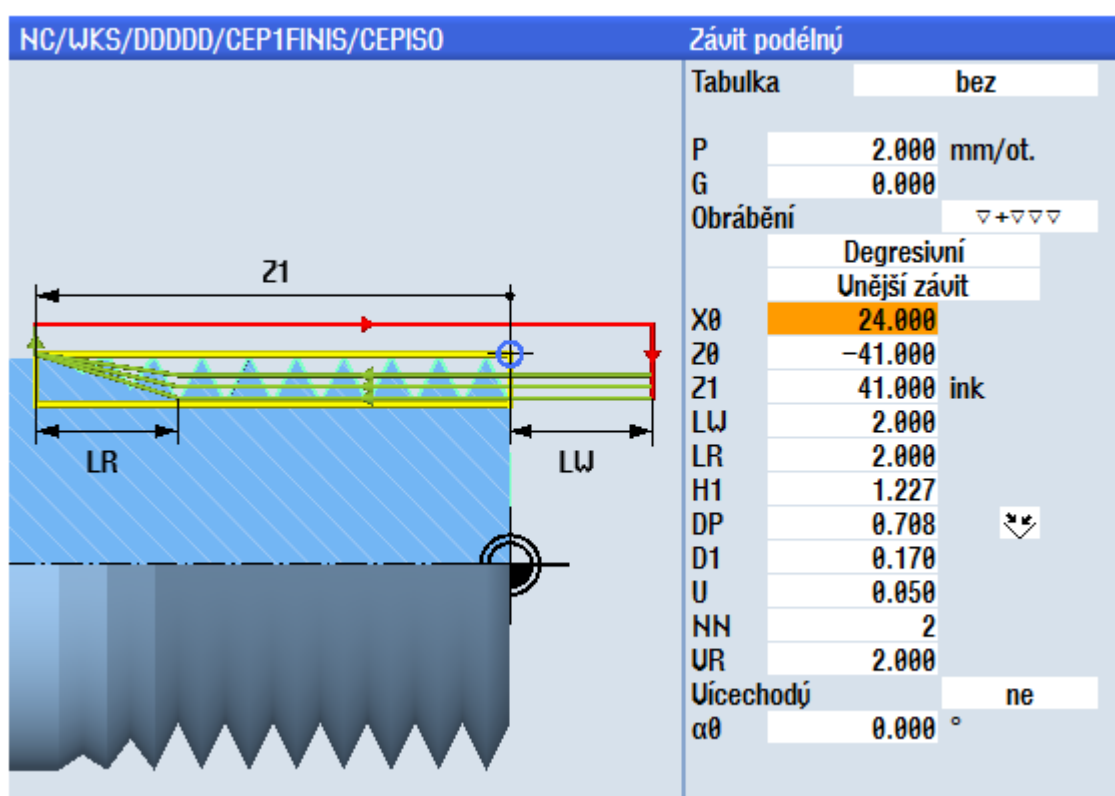


Obr. 51 Obrábění podél kontury (vlevo), bez pohybu podél kontury (vpravo) [40].

Druhý cyklus je určen pro dokončovací operaci. Oproti hrubovacímu cyklu je definován pouze dvěma parametry a to bezpečnou vzdáleností SC a posuvem F. Šířka záběru ostří a_p (nazýváno též hloubka třísky) je definovaná již v předcházejícím hrubovacím cyklu jako přídavek na dokončení.

6.1.2 Výroba závitu M24x2-6h ČSN ISO 724

Pro výrobu závitu M24x2-6h ČSN ISO 724 je využito cyklu s označením CYCLE 99 (viz obr. 52). Jedná se o novější období původního cyklu CYCLE 97 určeného pro výrobu podélných závitů. Tento cyklus je opět definován několika parametry, které jsou uvedené v tabulce 16. Mimo tyto základní parametry je zde možnost volby lineárního nebo degresivního přísluvu. Lineární přísluv využívá konstantní hloubku řezu, degresivní přísluv využívá konstantní průřez třísky. U tohoto cyklu je rovněž možnost nastavení přísluvu se střídáním boků závitů. Díky tomuto typu přísluvu není zatížen vždy tentýž břit nástroje, což umožňuje zvyšovat životnost nástroje. [69]



Obr. 52 Dialogové okno cyklu CYCLE 99 [40].

Tab. 16 Parametry závitového cyklu [40].

Zkratka	Význam
P	stoupání závitu
G	změna stoupání závitu
X0, Z0	vztažné body v ose X a Z
Z1	délka závitu
LW	předsunutý náběh závitu
LR	výběh závitu
H1	hloubka závitu
FR	posuv při zajiždění do podříznutí
DP	směr přísuvu (bok)
D1	první hloubka přísuvu
U	přídavek na dokončení
NN	počet průchodů bez záběru
VR	návratová vzdálenost
α_0	počáteční úhel závitu

6.1.3 Výroba speciální mazací drážky

Při soustružení mazací drážky je využito stejného cyklu jako při výrobě podélného závitu v kapitole 6.1.2. Mazací drážka je nadefinována jako závit se

stoupáním 65 mm. Hloubka závitů je zvolena stejně jako hloubka třísky a drážka je tak vyrobena na jeden pracovní úběr.

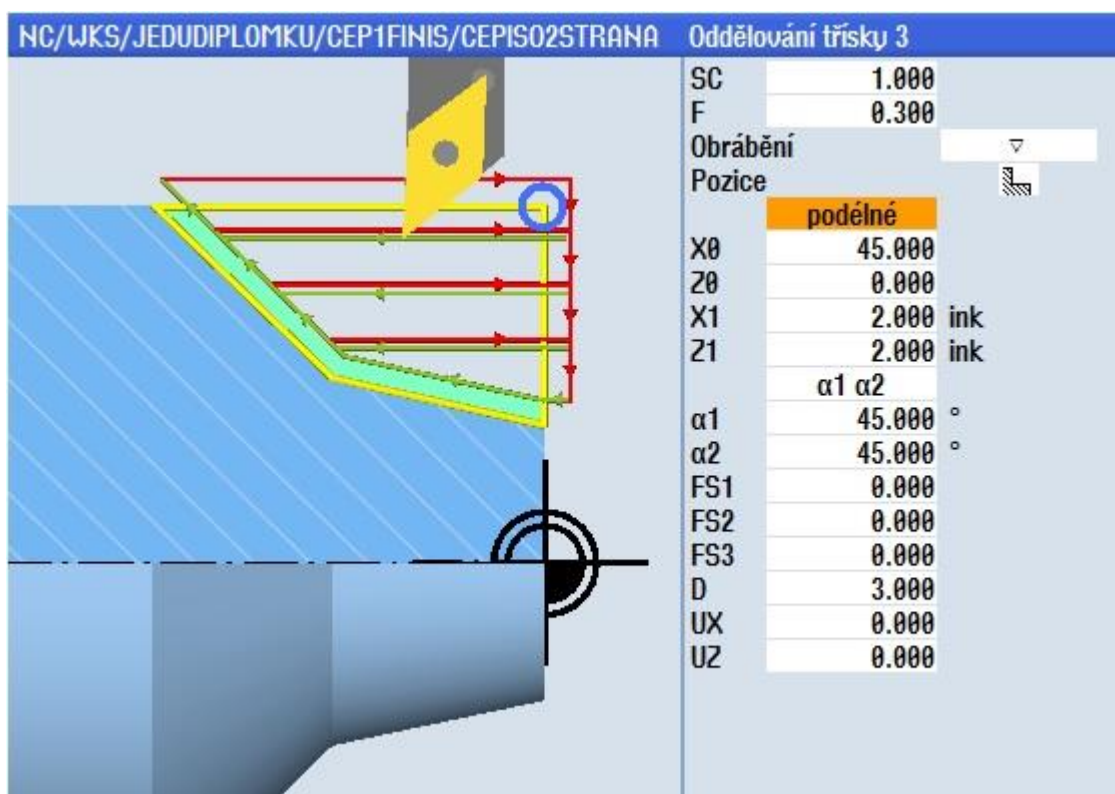
6.2 NC program pro výrobu 2. strany čepu

NC program pro výrobu 2. strany čepu je opět rozdělen na 4 soustružnické úseky:

- sražení vnější hrany čepu,
- vrtání díry Ø 9 mm,
- sražení vnitřní hrany čepu,
- výroba závitů M10x1-6H ČSN ISO 724.

6.2.1 Sražení vnější hrany čepu

Při sražení vnější hrany čepu je opět využito cyklu CYCLE 95. Jedná se o jednoduchou soustružnickou operaci, pro kterou není nutné programovat konturu a je tedy využit předdefinovaný úběr třísky, který tento cyklus umožňuje (viz obr. 53). U této soustružnické operace není potřeba dokončovacího obrábění a sražení hrany je tedy provedeno pouze hrubovacím cyklem bez přídavku na dokončení.



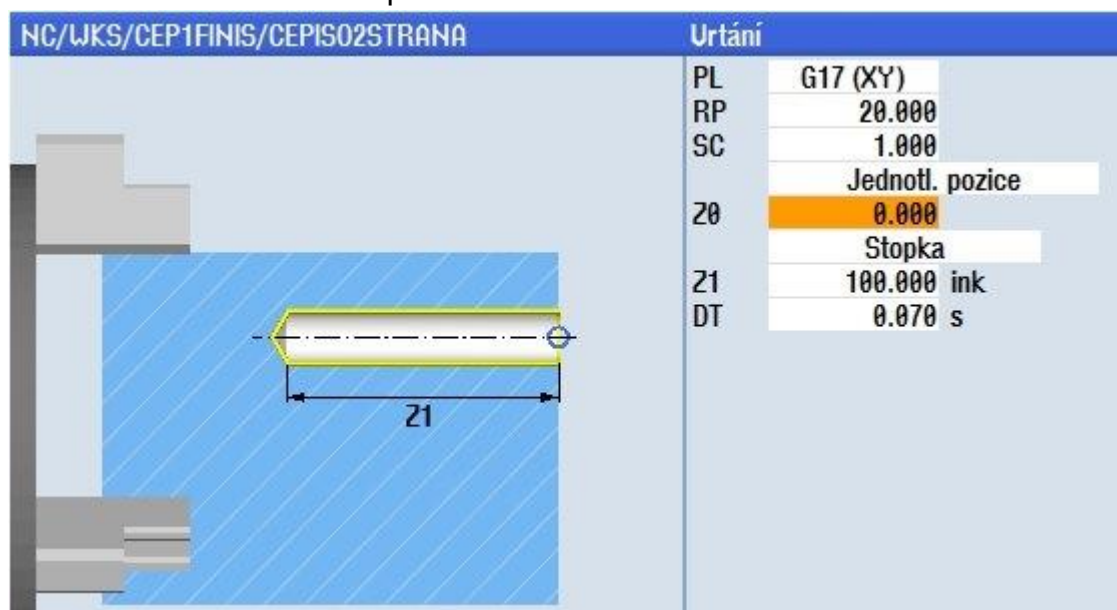
Obr. 53 Dialogové okno předdefinovaného cyklu CYCLE 95 [40].

Tab. 17 Parametry předdefinovaného hrubovacího cyklu [40].

Zkratka	Význam
SC	bezpečná vzdálenost
F	posuv
X0, Z0	vztažné body v ose X a Z
X1, Z1	koncové body v ose X a Z
$\alpha 1, \alpha 2$	požadované úhly sražení
FS1-3	šířka jednotlivých sražení
D	maximální hloubka třísky
UX, UZ	přídavek na dokončení v ose X, Z

6.2.2 Vrtání díry Ø 9 mm

Díra je vyrobena pomocí cyklu pro vrtání s označením CYCLE 82 (viz obr. 54). Před vyvoláním cyklu je potřeba zadat pracovní rovinu X/Y (funkce G17). Vrtací cyklus umožňuje i definici časové prodlevy v konečné hloubce v sekundách (parametr DT). U vrtacích operací se často nastavují 3-4 otáčky v konečné hloubce bez úběru třísky. Dochází tak k vyhlazení kuželového zakončení vrtané díry. Jako další numerické parametry, které je možno v tomto cyklu definovat, jsou návratová rovina (RP), bezpečná vzdálenost (SC), vztažný bod v ose Z (Z0) a hloubka vrtání vztažená na parametr Z0.



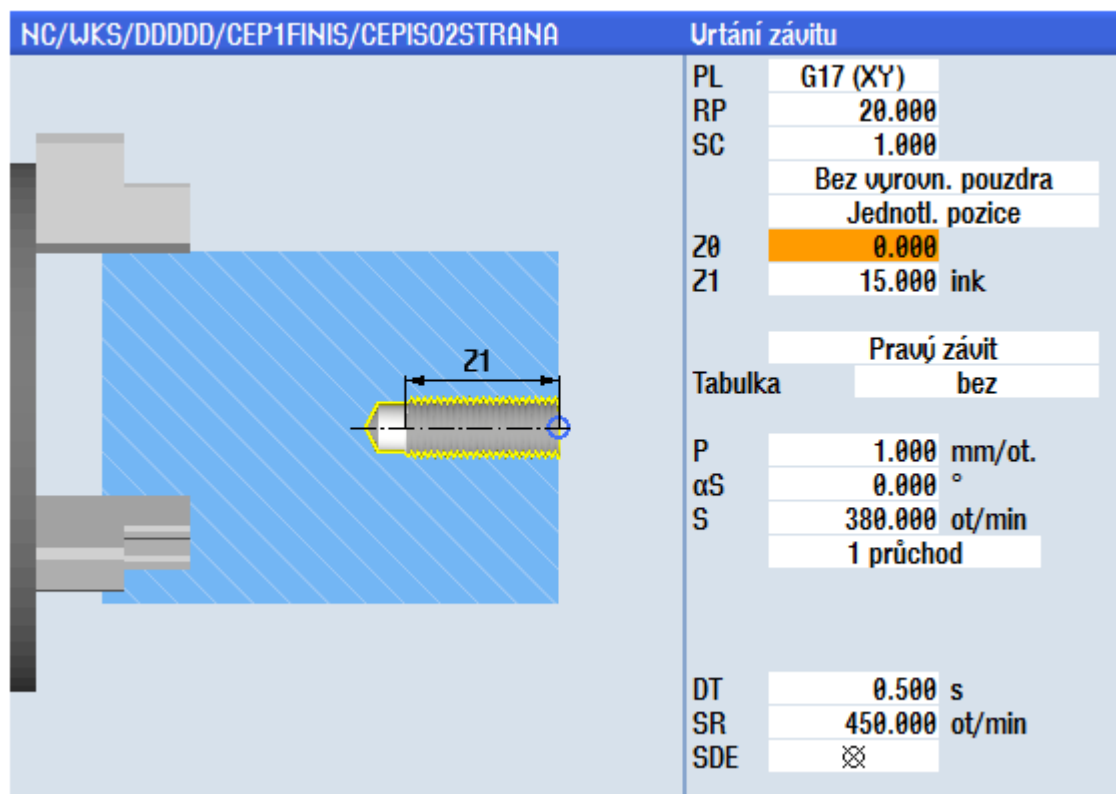
Obr. 54 Vrtací cyklus CYCLE 82 [40].

6.2.3 Sražení vnitřní hrany čepu

Pro sražení vnitřní hrany čepu je opět využito vrtacího cyklu CYCLE 82. Sražení vnitřní hrany čepu pomocí kuželového záhlubníku DIN 334 C je tedy definováno jako vrtací operace. Opět je zde využito možnosti časové prodlevy v konečné hloubce a jsou zde nadefinované 4 otáčky bez úběru třísky pro dosažení kvalitnější plochy.

6.2.4 Výroba závitu M10x1-6H ČSN ISO 774

Vnitřní závit je vyroben pomocí cyklu pro vrtání závitů CYCLE 84 (viz obr. 55). Před vyvoláním cyklu je obdobně jako v kapitole 6.2.2 nutno zadat pracovní rovinu X/Y funkcí G17.



Obr. 55 Dialogové okno vrtání závitu CYCLE 82 [40].

U toho cyklu je opět několik numerických parametrů, které definují daný obráběcí proces. Tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 18.

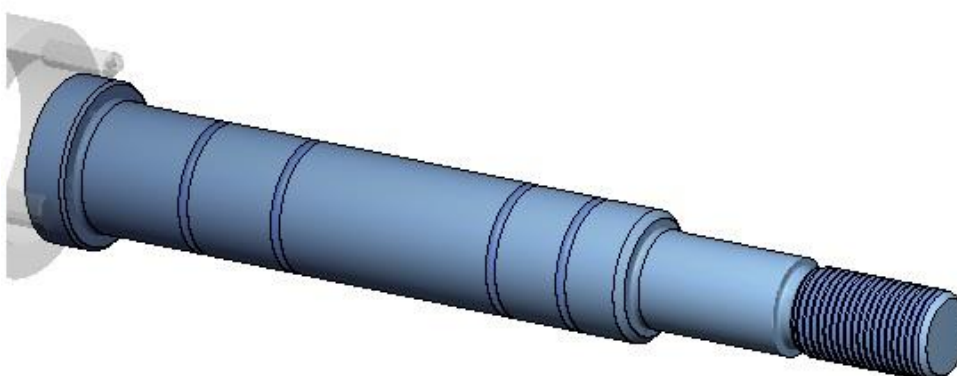
Tab. 18 Parametry u vrtání závitů [40].

Zkratka	Význam
RP	návratová rovina
SC	bezpečná vzdálenost
Z0	vztažný bod v ose Z
Z1	délka závitu
P	stoupání závitu
αS	posunutí počátečního úhlu
S	otáčky vřetena
DT	časová prodleva ve vrtané hloubce
SR	otáčky vřetena pro zpětný pohyb
SDE	smysl otáčení po ukončení cyklu

6.3 Praktické ověření NC programu formou simulace

Pro ověření NC programu bylo využito grafické simulace v programu SinuTrain Operate V4.5. U simulace NC programu pro 1. stranu čepu je možné si všimnout nevykreslené mazací drážky (viz obr. 56). Jedná se pouze o chybné grafické vykreslení dané operace. Výroba mazací drážky byla konzultována v brněnské pobočce společnosti Siemens AG, kde byla ověřena funkcí trace, která vykresluje polohování osy Z a X v závislosti na otáčkách vřetena.

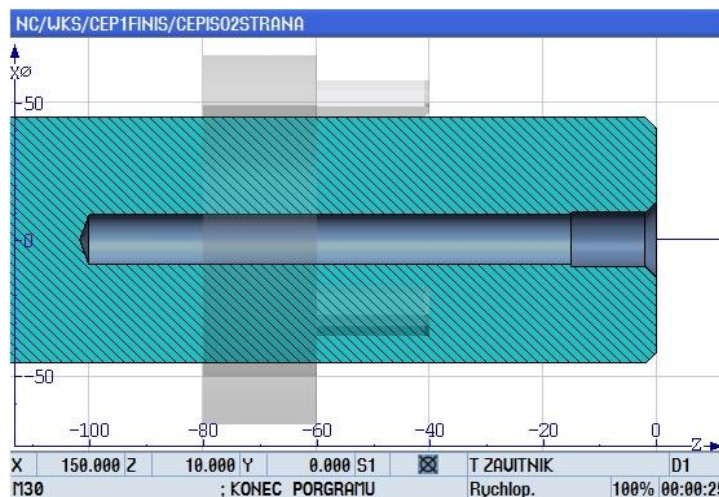
NC/WKS/CEP1FINIS/CEPISO



X	150.000	Z	10.000	Y	0.000	S1	<input checked="" type="checkbox"/>	T RADECO	D1
M30	; KONEC PORGRAMU							Rychlop.	100% 00:02:32

Obr. 56 Simulace NC programu pro 1. stanu čepu [40].

Grafické vykreslení NC programu pro 2. stranu čepu (viz obr. 57) proběhlo v pořádku. Pro lepší vykreslení jednotlivých operací byl zvolen pohled součásti v polovičním řezu. Kompletní NC programy obou stran jsou uvedeny v příloze.



Obr. 57 Simulace NC programu pro 2. Stanu čepu [40].

7 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NOVĚ NAVRŽENÉ VÝROBY

Tato kapitola věnuje pozornost ověření zvolených řezných podmínek s ohledem na trvanlivost břitových destiček, ověření potřebného řezného výkonu CNC stroje pro nejnáročnější soustružnickou operaci a ekonomickým zhodnocení nově navržené výroby, kde budou stanoveny náklady na hodinovou výrobu CNC stroje a cena vyráběné součásti.

U kapitoly zabývající se ekonomickým zhodnocením výroby budou prezentované výsledky zkreslené z důvodu ochrany interních výrobních informací dané firmy. Výchozí hodnoty potřebné do kontrolních výpočtů jsou tedy vynásobené neuvedeným koeficientem, se kterým je seznámen pracovník firmy SLAVOKO s.r.o.

7.1 Ověření řezných podmínek s ohledem na trvanlivost nástroje

Jak již bylo popsáno v kapitole 3.2.2, doporučené řezné podmínky pro jednotlivé nástroje jsou uvedeny již s ohledem na obráběný materiál při základní životnosti nástroje 15 min. Pro efektivní a levnou výrobu je však vhodné nadefinovat řezné podmínky s ohledem na výrobní dávku tak, aby životnost jednotlivých nástrojů končila vždy co nejbližší po kompletním dokončení výroby jedné součásti a byla tak maximálně využita daná trvanlivost nástrojů.

Pro určení času pracovního záběru jednotlivých nástrojů lze vycházet ze simulace výroby součásti, kterou zvolený software, ve kterém byla součást programována, nabízí. Tato časová hodnota je však nepřesná, jelikož do pracovního posuvu je řazena i nadefinovaná bezpečná vzdálenost před obrobkem, výjezd nástroje nad konturu atd. Při určování doby pracovního záběru jednotlivých nástrojů se tedy vychází z jednotkového strojního času t_{AS} dle vztahu (1). Dráha nástroje L je uvedena bez náběhu a přeběhu nástroje. Touto úpravou je tedy dosažena doba „čistého“ pracovního záběru jednotlivých nástrojů. Simulace je poté využita pro určení počtu záběrů na daném průměru, případně pro zjištění dokončujících úběrů, které si soustružnický cyklus sám nadefinuje podle uvedené maximální hloubky třísky atd.

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f_{ot}} \quad (1)$$

kde:	t_{AS} [min]	-	jednotkový strojní čas,
	L [mm]	-	dráha nástroje bez náběhu a přeběhu,
	n [min ⁻¹]	-	otáčky obrobku,
	f_{ot} [mm]	-	posuv na otáčku.

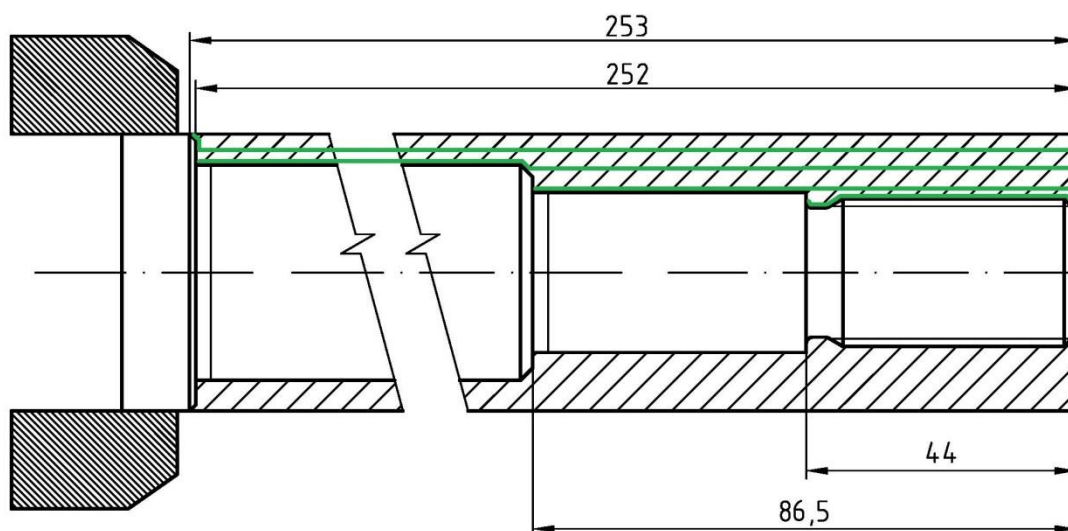
Při programování součásti je využito obrábění při konstantní řezné rychlosti v_c . Otáčky n , které potřebujeme do rovnice (1), tedy budou v závislosti s měnícím se obráběným průměrem odlišné. Při určování celkového strojního času tedy musí být brán ohled na aktuální obráběný průměr a příslušné otáčky se stanoví ze vztahu (2).

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (2)$$

kde: $n [\text{min}^{-1}]$ - otáčky obrobku,
 $v_c [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$ - řezná rychlost,
 $D [\text{mm}]$ - aktuální soustružený průměr.

Ověření řezných podmínek pro hrubování

Hrubovací operace při zadané maximální hloubce třísky 3,5 mm jsou dle simulace provedeny na 4 průchody řezného nástroje (viz obr. 58).



Obr. 58 Hrubovací operace.

U hrubovacích operací se tedy setkáváme se 4 různými průměry, které budou mít odlišné otáčky a v konečném důsledku tedy i odlišné jednotkové strojní časy. Celkový čas pracovního záběru hrubovacího nože tedy bude součtem jednotlivých strojních časů vypočtených pro příslušnou délku a průměr součásti. Jednotlivé průměry jsou stanoveny na základě výstupních hodnot simulace a dle výrobního výkresu dané součásti.

Jednotkový čas prvního záběru nástroje t_{AS1} :

Dle vzorce (2) jsou určeny příslušné otáčky n_1 na daném průměru D_1 :

$$n_1 = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_1} = \frac{240 \cdot 1000}{\pi \cdot 45} = 1697,65 \text{ min}^{-1}$$

Dráha nástroje L_1 při prvním záběru je navýšena o hodnotu 2 mm, což je dráha potřebná ke sražení hrany čepu při obrábění 2. strany součásti. Toto sražení probíhá na stejném průměru D_1 a stejným nástrojem při stejných řezných podmínkách.

$$t_{AS1} = \frac{L_1}{n_1 \cdot f_{ot}} = \frac{255}{1697,65 \cdot 0,3} = 0,50 \text{ min}$$

Jednotkový čas druhého záběru nástroje t_{AS2} :

Hodnota průměru D_2 byla odečtena ze simulace po uskutečnění prvního úběru. Změnou obráběného průměru je tak dle vzorce (2) dosaženo odlišných otáček:

$$n_2 = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_2} = \frac{240 \cdot 1000}{\pi \cdot 40,25} = 1898,00 \text{ min}^{-1}$$

S odpovídající dráhou nástroje L_2 se stanoví jednotkový čas druhého záběru:

$$t_{AS2} = \frac{L_2}{n_2 \cdot f_{ot}} = \frac{252}{1898 \cdot 0,3} = 0,44 \text{ min}$$

Jednotkový čas třetího záběru nástroje t_{AS3} :

Hodnota průměru D_3 byla opět odečtena ze simulace po uskutečnění příslušného úběru materiálu.

$$n_3 = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_3} = \frac{240 \cdot 1000}{\pi \cdot 33,5} = 2280,43 \text{ min}^{-1}$$

Jednotkový čas třetího záběru nástroje:

$$t_{AS3} = \frac{L_3}{n_3 \cdot f_{ot}} = \frac{86,5}{2280,43 \cdot 0,3} = 0,13 \text{ min}$$

Jednotkový čas čtvrtého záběru nástroje t_{AS4} :

Průměr D_4 byl opět jako v předchozích případech určen pomocí simulace.

$$n_4 = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_4} = \frac{240 \cdot 1000}{\pi \cdot 27} = 2829,42 \text{ min}^{-1}$$

S odpovídající dráhou nástroje L_4 byl stanoven poslední jednotkový čas hrubovací operace:

$$t_{AS4} = \frac{L_4}{n_4 \cdot f_{ot}} = \frac{44}{2829,42 \cdot 0,3} = 0,05 \text{ min}$$

Celkový čas záběru hrubovacího nože se následně stanoví součtem jednotlivých strojních časů určených v předešlých výpočtech:

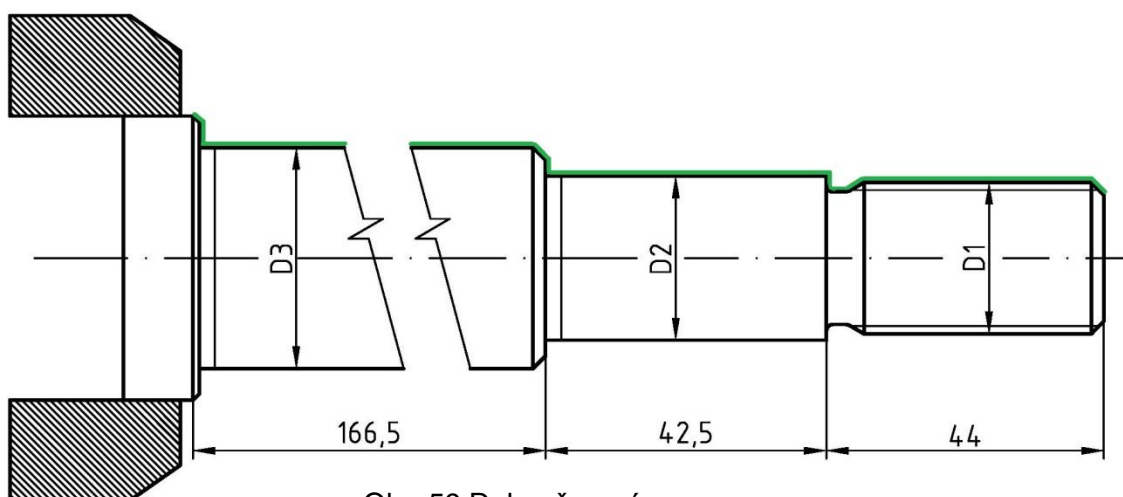
$$t_{AS} = t_{AS1} + t_{AS2} + t_{AS3} + t_{AS4} = 1,12 \text{ min}$$

S ohledem na základní životnost nástroje, která je 15 minut, tedy vyrobíme 13,39 ks čepů, než se břitová destička hrubovacího nože otupí. V praxi by to tedy znamenalo měnit břitovou destičku po soustružení 13. čepu. V tomto případě by tak ale nebyla plně využita životnost nástroje a jednalo by se o neefektivní obrábění. Za předpokladu, že chceme ponechat výchozí životnosti nástroje, je vhodné upravit řezné podmínky tak, aby potřebná výměna nástroje vycházela co nejbližší po obrobení 14. kusu součásti. Tohoto výsledku lze docílit buď zvýšením posuvu, nebo řezné rychlosti. Zvyšování posuvu však má obecně za následek zhoršování povrchu obrobené plochy a je tedy vhodné navýšovat řeznou rychlost, pokud to rozsah doporučených řezných podmínek pro daný případ dovoluje. U hrubovacího nože je uvedena doporučená řezná rychlost pro dané podmínky v rozsahu $195\text{--}290 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Při zvýšení řezné rychlosti z původní hodnoty $240 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ na $250 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ je dosaženo celkového času záběru hrubovacího nože $t_{AS} = 1,07$ minut. S těmito řeznými podmínkami lze tedy vyrobit 14,01 čepů, než bude potřeba břitovou destičku vyměnit. V tomto případě je tedy lépe využita celá životnost nástroje a břitová destička bude vyměněna po obrobení 14. čepu.

Vypočtená hodnota t_{AS} není zcela přesnou hodnotou. Daná součást obsahuje i několik technologických zápichů a sražení, které souvisí s rozdílnými průměry a s nadefinovaným obráběním při konstantní řezné rychlosti následně i s jinými otáčkami obrobku, které v konečném důsledku mohou pozměnit konečnou hodnotu pracovního záběru jednotlivých nástrojů. S ohledem na celkový čas obrábění dané součásti se ale již jedná o zanedbatelné odchylky. Simulace v příslušném programu uvádí výslednou časovou hodnotu hrubovacích operací 1 minutu a 8 sekund což odpovídá hodnotě 1,13 minut. Je tak potvrzené úvodní tvrzení, že se jedná o navýšenou časovou hodnotu o bezpečné nájezdy nástroje před obrobek, výjezdy nástroje nad konturu atd. U těchto pracovních úkonů však nástroj není v záběru a pro reálnější výpočty výsledné trvanlivosti je tedy vhodnější vycházet z vypočtených hodnot strojních časů.

Ověření řezných podmínek pro dokončovací operace

Řezné podmínky pro dokončovací operace budou ověřeny stejným způsobem, jako tomu bylo u hrubování. Přesto že dokončovací operace probíhají na jeden průchod nástroje, je při výpočtech potřeba opět zohlednit jednotlivé průměry součásti, které souvisí s odlišnými otáčkami. Na součásti se vyskytují 3 různé obráběné průměry (viz obr. 59).



Obr. 59 Dokončovací operace

Jednotlivé průměry byly určeny z požadovaných výsledných rozměrů součásti po soustružnických operacích, ke kterým byly připočteny přídatky na dokončení nadefinované v hrubovacím cyklu. Celkový čas záběru dokončovacího nože tak bude stanoven opět součtem jednotlivých strojních časů odpovídajících daným průměrům.

Jednotkový čas záběru na průměru D₁:

Dle vzorce (2) jsou opět určeny příslušné otáčky n_1 na průměru D_1 :

$$n_1 = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_1} = \frac{300 \cdot 1000}{\pi \cdot 24,9} = 3835,06 \text{ min}^{-1}$$

Čas záběru nástroje na daném průměru je pak stanoven dle vzorce (1):

$$t_{AS1} = \frac{L_1}{n_1 \cdot f_{ot}} = \frac{44}{3835,06 \cdot 0,12} = 0,09 \text{ min}$$

Jednotkový čas záběru na průměru D₂:

$$n_2 = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_2} = \frac{300 \cdot 1000}{\pi \cdot 27,164} = 3515,42 \text{ min}^{-1}$$

Čas záběru nástroje na průměru D_2 :

$$t_{AS2} = \frac{L_2}{n_2 \cdot f_{ot}} = \frac{42,5}{3515,42 \cdot 0,12} = 0,1 \text{ min}$$

Jednotkový čas záběru na průměru D_3 :

$$n_3 = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_3} = \frac{300 \cdot 1000}{\pi \cdot 36,165} = 2640,48 \text{ min}^{-1}$$

Čas záběru nástroje na průměru D_3 :

$$t_{AS3} = \frac{L_3}{n_3 \cdot f_{ot}} = \frac{165,5}{2640,48 \cdot 0,12} = 0,52 \text{ min}$$

Celkový čas záběru dokončovacího nože se opět stanoví součtem jednotlivých strojních časů určených v předešlých výpočtech:

$$t_{AS} = t_{AS1} + t_{AS2} + t_{AS3} = 0,71 \text{ min}$$

Celkový čas záběru dokončovacího nože t_{AS} při základní životnosti nástroje odpovídá výrobě 21,12 kusů součástí. Z ekonomického hlediska tedy není potřeba měnit tyto řezné podmínky, jelikož je životnost nástroje dostatečně využita a destička tak bude vyměněna vždy po obrobení 21 kusů čepů.

Pro úsporu vedlejšího času se v praxi často hledá kompromis mezi jednotlivými řeznými podmínkami, aby se po obrobení určitého počtu kusů měnilo hned několik destiček najednou. V tomto případě by tedy bylo například při použití řezných podmínek $v_c = 270 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_{ot} = 0,35 \text{ mm}$ u hrubování a $v_c = 300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_{ot} = 0,1 \text{ mm}$ u dokončování dosaženo jednotného času záběru obou nástrojů $t_{AS} = 0,86 \text{ minut}$ a obě břitové destičky by tak byly při zachování výchozí trvanlivosti 15 min měněny vždy po obrobení 17 kusů čepů.

7.2 Ověření potřebného řezného výkonu CNC soustruhu

Za nejnáročnější soustružnickou operaci lze označit hrubování, jelikož zde dochází k největší šířce záběru ostří a_p . Maximální hloubka třísky pro hrubování je definovaná na hodnotu 3,5 mm. Přesto že při obrábění zpravidla nedochází k využití maximální hloubky třísky a soustružnický cyklus si nadefinuje úběry třísek rovnoměrněji po menší hloubce, bude se v následujících výpočtech vycházet z této hodnoty. Dle literatury [70] je potřebný řezný výkon P_c definován součinem řezné síly F_c a řezné rychlosti v_c působící v hlavním bodě ostří. Pro výpočet potřebného řezného výkonu stroje (označováno též jako výkon na vřetenu stroje) se tedy vychází z rovnice (3).

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} \quad (3)$$

kde: P_c [kW] - řezný výkon,
 F_c [N] - řezná síla,
 v_c [m.min⁻¹] - řezná rychlost,

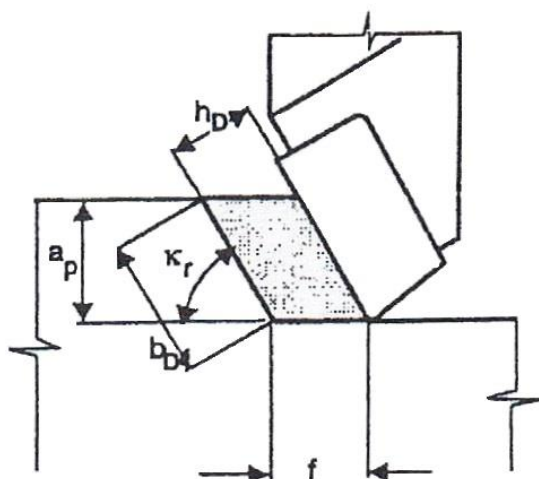
Řeznou sílu F_c lze stanovit pomocí empirických vztahů dle rovnice (4) nebo aplikací měrné řezné síly k_c dle vztahu (5). Konstanty C_{Fc} , x_{Fc} , y_{Fc} využívané v prvním vztahu jsou empiricky stanovené hodnoty, které jsou závislé na příslušném druhu oceli a na daných řezných podmínkách. Řeznou sílu F_c je tedy vhodnější určit pomocí měrné řezné síly k_c .

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f_{ot}^{y_{Fc}} \quad (4)$$

kde: a_p [mm] - hloubka třísky,
 f_{ot} [mm] - posuv na otáčku.

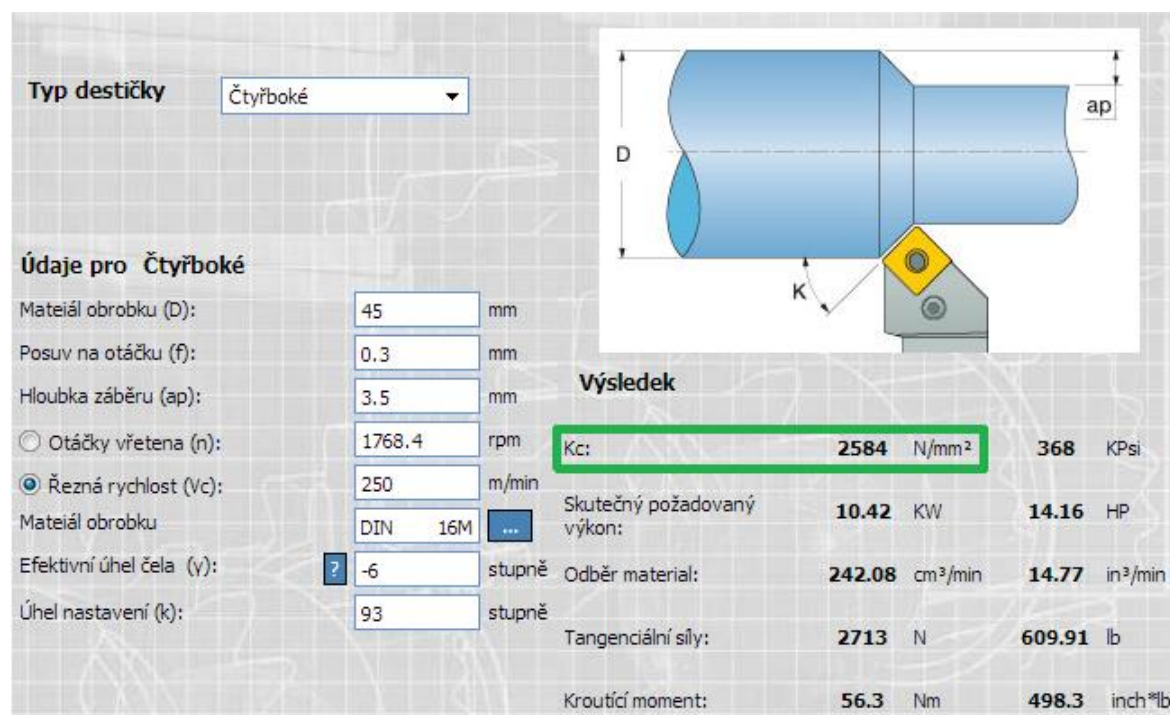
$$F_c = k_c \cdot A_D = k_c \cdot h_D \cdot b_D \quad (5)$$

kde: k_c [MPa] - měrná řezná síla,
 A_D [mm²] - jmenovitý průřez třísky,
 h_D [mm] - jmenovitá tloušťka třísky,
 b_D [mm] - jmenovitá šířka třísky.



Obr. 60 Jmenovitý průřez třísky pro podélné soustružení [70].

Měrná řezná síla k_c (nazývaná též měrný řezný odpor) je rovněž veličina která se určuje pomocí empiricky stanovených konstant, ale jsou již dostupné kalkulační programy a online katalogy, které dokážou tuto hodnotu stanovit (viz obr. 61).



Typ destičky Čtyřboké

Údaje pro Čtyřboké

Materiál obrobku (D):	45	mm
Posuv na otáčku (f):	0.3	mm
Hloubka záběru (ap):	3.5	mm
<input type="radio"/> Otáčky vřetena (n):	1768.4	rpm
<input checked="" type="radio"/> Řezná rychlost (Vc):	250	m/min
Materiál obrobku	DIN 16M	
Efektivní úhel čela (γ):	-6	stupně
Úhel nastavení (κ):	93	stupně

Výsledek

Kc:	2584	N/mm²	368	KPsi
Skutečný požadovaný výkon:	10.42	KW	14.16	HP
Odběr material:	242.08	cm³/min	14.77	in³/min
Tangenciální síly:	2713	N	609.91	lb
Krouticí moment:	56.3	Nm	498.3	inch*lb

Obr. 61 Stanovení měrné řezné síly k_c (online katalog ISCAR) [71].

U podélného soustružení válcové plochy je pro určení jmenovitého průřezu třísky definován obecný vztah (6).

$$A_D = a_p \cdot f_{ot} \quad (6)$$

kde: A_D [mm²] - jmenovitý průřez třísky,
 a_p [mm] - hloubka třísky,
 f_{ot} [mm] - posuv na otáčku.

Na základě výše uvedených vzorců lze tedy určit jmenovitý průřez třísky A_D :

$$A_D = a_p \cdot f_{ot} = 3,5 \cdot 0,30 = 1,05 \text{ mm}^2$$

Po dosazení do vzorce (5) dostaneme řeznou sílu F_c :

$$F_c = k_c \cdot A_D = 2584 \cdot 1,05 = 2713,2 \text{ N}$$

Vypočtený jmenovitý průřez třísky A_D a řeznou sílu F_c následně dosadíme do vzorce (3) a dostaneme potřebný řezný výkon CNC stroje:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} = \frac{2713,2 \cdot 250}{6 \cdot 10^4} = 11,3 \text{ kW}$$

Jak již bylo zmíněno, stanovení řezní síly je závislé na mnoha faktorech, mezi které může být řazena nejen geometrie řezného nástroje, ale obecně i typ výměnné břitové destičky. Vygenerovaná měrná řezná síla pomocí zmíněného programu tedy nemusí být zcela přesná. Pro ověření výpočtů byl proveden experiment ve školní laboratoři, kde se pomocí dynamometru Kistler 8257B naměřila skutečná řezná síla F_c odpovídající obrábění požadovaného materiálu pomocí stejného typu výměnných břitových destiček, které byly zvoleny v kapitole 3.2.2 vč. příslušného nástrojového držáku PDJNL 2020 K 15 (viz obr. 62).



Obr. 62 Výměnné břitové destičky a průběh experimentu.

Experiment byl proveden na školním soustruhu SU 50. Tento soustruh má maximální otáčky vřetena 1400 min^{-1} , což při obrábění daného polotovaru odpovídá řezné rychlosti cca $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Podmínky experimentu tedy přesně neodpovídají zvolené řezné rychlosti, která byla určena v kapitole 7.1, nicméně měrná řezná síla k_c zůstává dle katalogu ISCAR i při této odlišné řezné rychlosti na stejné hodnotě 2584 MPa . Změna řezné rychlosti má tedy vliv až na konečný výpočet potřebného řezného výkonu podle rovnice (3) a řezná síla F_c při řezné rychlosti $v_c=200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ se tedy dle katalogu ISCAR nezmění.

Při experimentu se provedlo 5 nezávislých měření. Nejvyšší dosažená hodnota řezné síly F_c dle experimentu je $1984,29 \text{ N}$ (průběh řezných sil F_c u jednotlivých měření jsou uvedeny v příloze). S ohledem na tuto hodnotu řezné síly pak výsledný řezný výkon stroje pro zvolenou řeznou rychlost $v_c=250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ dle vzorce (3) vychází na hodnotu $8,26 \text{ kW}$. U daného CNC stroje SP 180 je výrobcem uveden maximální řezný výkon 30 kW (kapitola 3.2.1). S ohledem na vypočtený i experimentem stanovený potřebný řezný výkon má tedy tento stroj dostačující výkon pro zvolenou soustružnickou operaci.

7.3 Hodinová sazba CNC soustruhu

Ekonomika provozu CNC strojů spočívá v maximálním využívání časového fondu stroje po dobu jeho životnosti. V praxi to tedy znamená snížit přípravné a vedlejší časy, jako může být např. tvorba NC programu přímo na stroji, provádění simulace atd. Z tohoto důvodu se NC programy často programují a simulují na jiném pracovišti pomocí výpočetní techniky. Aby byla tedy původní definice přesnější, CNC stroj je potřeba maximálně využívat v rámci pracovní doby pro vlastní produkci výrobků.

Důležitým faktorem pro ekonomický provoz CNC stroje je rovněž najít optimální poměr mezi strojním časem a řeznými podmínkami. Vyššími řeznými podmínkami lze sice dosáhnout zkrácení strojních časů, ale snižuje se trvanlivost nástrojů a tím tedy rostou náklady na pořízení břitových destiček atd.

Při určování nákladů na výrobu pomocí CNC stroje se vychází z tzv. hodinové sazby, která stanovuje hodinovou cenu výroby na příslušném stroji. Pro určení této sazby je zapotřebí znát následující výchozí informace [37, 39]:

- Cena CNC stroje **Cs** [Kč]
- Náklady na pořízení **N** [Kč]
 - dovoz stroje, vybudování základů pro ustavení stroje atd.
- Náklady na demontáž **D** [Kč]
 - uvedení pracoviště do původního stavu, ekologické vyřazení atd.
- Likvidační hodnota **L** [Kč]
 - odprodej stroje, případně cena šrotu.
- Doba upotřebitelnosti **T**
 - jedná se o dobu odepisování, která je dána zákonem. CNC stroje spadají do odpisové skupiny 2 mezi obráběcí a tvářecí stroje. CNC soustruh se tedy odepisuje po dobu 5-ti let a je využíváno rovnoměrné odepisování (zrychlené odepisování vyžaduje složitější výpočty).
- Roční efektivní fond pracoviště **Fef** [hod/rok]
 - hodnota daná počtem pracovních dnů v roce vynásobená počtem směn a počtem hodin ve směně. Výsledná hodnota se násobí koeficientem využití stroje (nemocnost, dovolená, opravy stroje atd.)
- Fixní hodinová spotřeba **Sf** [Kč/hod]
 - mzda obsluhy + ostatní náklady (elektrická energie, spotřeba nástrojů, údržba, opravy atd.) přepočtené na rok a podělené počtem pracovních hodin stroje za rok.

Pomocí zmíněných výchozích informací se dle vzorce (7) určí tzv. hodinová částka odpisu stroje:

$$Or = \frac{Cs + N + D - L}{T \cdot Fef} \quad [Kč/hod] \quad (7)$$

Výsledná hodinová sazba CNC stroje se následně stanoví ze vztahu (8).

$$Nh = Sf + Or \quad [Kč/hod] \quad (8)$$

Pomocí výše uvedených vztahů lze tedy stanovit teoretickou hodnotu hodinové sazby CNC soustruhu SP180 v provozu dané firmy:

Tab. 19 Výchozí informace pro stanovení hodinové sazby stroje.

Cena CNC stroje Cs	2 078 000 Kč
Náklady na pořízení N	50 000 Kč
Náklady na demontáž D	25 000 Kč
Likvidační hodnota L	100 000 Kč
Doba upotřebitelnosti T	5 roků
Fixní hodinová spotřeba Sf	250 Kč/hod

Roční efektivní fond pracoviště **Fef** je určen pro následující rok 2015. Dle online portálu [72] je v tomto roce 251 pracovních dnů. U dané výroby se vychází z jedné osmihodinové směny. Koeficient využití stroje je zde zvolen 0,9.

$$Fef = 251 \cdot 1,8 \cdot 0,9 = 1807 \text{ hod/rok}$$

Hodinová částka odpisu stroje dle rovnice (7) v tomto případě tedy odpovídá:

$$Or = \frac{2078000 + 50000 + 25000 - 100000}{5 \cdot 1807} = 227 \text{ Kč/hod}$$

Výsledná hodinová sazba daného CNC soustruhu dle vztahu (8):

$$Nh = 250 + 227 = 477 \text{ Kč/hod}$$

7.4 Stanovení ceny vyráběné součásti pomocí nově navržené výroby

Při stanovení ceny výrobku se vychází z výpočtu nákladů na provoz stroje, kterým se zabývala předchozí podkapitola. Při kalkulaci ceny se tedy vychází ze skutečně vynaložených nákladů, které vznikají při dané výrobě. Tento druh výpočtu umožňuje přesné stanovení ceny z hlediska posouzení konkurenceschopnosti vůči ostatním výrobcům v porovnání s jejich tržními cenami. [37]

Cena vyráběné součásti bude stanovena pro výrobu 100 ks čepů. Pro zjednodušení výpočtu se bude předpokládat, že výroba čepů probíhá pouze

na CNC soustruhu a jednicové náklady ostatních pracovišť jsou následně zahrnuty v režii. Pro daný výpočet je opět zapotřebí stanovit několik výchozích informací:

➤ Hmotnost nakoupených polotovarů – 375 kg

Pro výrobu 100 ks čepů v délce 264 mm je potřeba 26,4 m tyče + přídavky na řezání polotovarů. Kruhová tyč z dané oceli je dodávána v délce 6 m. Pro výrobu potřebného množství čepů je tedy potřeba 4,4 ks příslušné tyče ($26,4/6$). Pro danou výrobu se tedy bude vycházet z hmotnosti 5 tyčí (přidavky na řezání polotovarů jsou obsaženy ve zbytku materiálu, který může být následně rovněž využit při výrobě jiné součásti atd.). Hmotnost 1 m příslušné tyče je dle literatury [12] 12,485 kg. Celková hmotnost nakoupených polotovarů je tedy cca 375 kg ($12,485 \times 6 \times 5$).

➤ Kilogramová cena polotovarů – 30 Kč/kg

Cena stanovená dodavatelem vč. daně.

➤ Náklady na hodinu výroby CNC soustruhu – 477 Kč/hod

Hodnota stanovená v podkapitole 7.3.

➤ Čas výroby zakázky – 7 hod

Při stanovení času výroby se vycházelo ze simulace NC programu. První strana čepu je dle simulace vyrobena za 2 min 21 s, druhá strana potom za 25 s. K výrobním časům je potřeba připočítat čas potřebný na upínání obrobku. Tento čas je stanoven na 30 s a s ohledem na typ výroby, kdy se obrobek ručně otáčí pro obrobení druhé strany, je započítán dvakrát. Celkový čas výroby jednoho čepu tedy vychází na 3 min 46 s = 3,76 min ($2 \text{ min } 21 \text{ s} + 25 \text{ s} + 2 \times 30 \text{ s}$). Pro dosažení reálnějších výpočtů je výrobní čas zvýšen o 10 % (možné časové nepřesnosti simulace atd.) na hodnotu 4,15 min. Při výrobě 100 kusů čepů je tedy čas výroby stanoven na 415 min $\approx 7 \text{ hod}$ ($100 \times 4,15$).

Při určování konečné ceny součásti se následně spočítá cena polotovaru ($375 \times 30 = \mathbf{11250 \text{ Kč}}$), jednicové náklady provozu stroje ($477 \times 7 = \mathbf{3339 \text{ Kč}}$) a určí se příslušná hodnota dané režie, kam jsou řazeny náklady na provoz budovy, administrativa atd. (při zvolené režii 200 % je dosažena hodnota $2 \times 3339 = \mathbf{6678 \text{ Kč}}$). Celkové náklady na danou výrobu ve výši **21267 Kč** jsou následně stanoveny součtem jednotlivých položek ($11250 \text{ Kč} + 3339 \text{ Kč} + 6678 \text{ Kč}$). Jednicové náklady na výrobu jednoho čepu tedy vychází na 212,67 Kč ($21267/100$). Při požadované marži 20 % je určena výsledná prodejní cena vyráběné součásti pomocí nově navržené výroby v hodnotě **255,20 Kč** ($1,2 \times 212,67 \text{ Kč}$).

ZÁVĚR

Tato diplomová práce obsahuje návrh nové výroby zpracovaný na míru pro firmu SLAVOKO s.r.o. Rozsah a výsledky práce jsou shrnuty v následujících bodech:

- Nová výroba je navržena pro dvouosý CNC soustruh SP 180 od společnosti KOVOSVIT MAS a.s.
- NC program pro výrobu zadané součásti byl vytvořen ISO programováním doplněným základními soustružnickými cykly (CYCLE 95, CYCLE 99, CYCLE 84) v programu SinuTrain Operate V4.5 od firmy Siemens AG.
- Byla provedena vizualizace a verifikace vytvořeného NC programu pod dohledem pracovníků z brněnské pobočky společnosti Siemens AG.
- Technologické možnosti obrábění na CNC soustruhu SP 180 umožňují plnohodnotné nahrazení frézovacích operací při výrobě speciálních mazacích drážek, které se na výrobcích nacházejí.
- U nově navržené výroby byl ověřen potřebný výkon stroje pro nejnáročnější soustružnickou operaci dosaženou u hrubování. Potřebný řezný výkon byl stanoven na 11,3 kW. Zvolený CNC soustruh svým maximálním výkonem včetně 30 kW poskytuje dostatečný výkon pro nadefinované obrábění.
- Při využití nově navržené výroby a zvolené výrobní dávce 100 ks zadaných součástí byla stanovena cena jednoho výrobku na 255,20 Kč (výchozí hodnoty potřebné do prezentovaných kontrolních výpočtů pro stanovení této ceny jsou z důvodu ochrany interních výrobních informací dané firmy vynásobené neuvedeným koeficientem, se kterým je pracovník této společnosti seznámen).
- Při výrobě jednoho kusu dané součásti trvají soustružnické operace ve stávající výrobě na konvenčním soustruhu typu SN 50 B cca 15 min. Na základě výstupních hodnot NC programu je stanoven celkový čas soustružnických operací u nově navržené výroby na 3 min 46 s. Využití CNC soustruhu SP 180 v tomto konkrétním případě tedy urychlí soustružnické operace až o 400 %. Výrobní dávka o velikosti 100 ks zvolených součástí může být tedy zpracována v jedné směně za cca 7 hod.

Výše uvedené výsledky této diplomové práce potvrzují skutečnost, že u řady součástí CNC soustruhy zjednodušují technologii soustružení, zkracují výrobní časy, zvyšují produktivitu práce a mají tak v dnešní době nezastupitelnou roli při výrobě rotačních strojních součástí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. QUESADA, Robert. *Computer numerical control: machining and turning centers*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005, 548 s. ISBN 01-304-8867-4.
2. PÍŠKA, Miroslav a Aleš POLZER. *Programování moderních CNC strojů: Výukové texty ke kurzům*. 1: LITERA Brno, 2012. ISBN 978-80-214-4519-2.
3. Historie podniku Liaz. *LIAZ* [online]. 2012 [vid. 2014-02-08]. Dostupné z: <http://www.liaz.cz/historie.php>
4. Nákladní auta (nad 3,5 t): Nákladní auta typu skříň. Hyperinzerce [online]. 15.10.2011 [vid. 2014-02-08]. Dostupné z: <http://nakladni-uzitkove-vozy.hyperinzerce.cz/nakladni-auta-skrine/inzerat/4350066-liaz-skoda-18-33-nabidka-jizni-cechy/#.UvYj1fI5NqV>
5. Práce na LIAZu v roce 2006. *Liaz navždy* [online]. 2006 [vid. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.liaznavzdy.cz/nas06.php>
6. Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D. *Podvozek Liaz* [konzultace]. [vid. 2014-02-11].
7. Ing. Josef Večerník. *Schéma sestavy podvozku* [email]. [vid. 2014-01-31].
8. KONSTRUKČNÍ OCEL ČSN 14 220. *JKZ* [online]. 2010 [vid. 2014-02-08]. Dostupné z: <http://jkz.jb-webshare.com/node/220>
9. SVOBODA, Pavel a Rudolf SUCHOMEL. *Technické materiály ve výrobní dokumentaci*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1971.
10. SLAVOKO s.r.o. *Technologický postup výroby* [konzultace]. [vid. 2014-02-05].
11. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: CERM, 2002, 158 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2219-X.
12. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
13. Automatické pily. *Bomar* [online]. 2012 [vid. 2014-02-11]. Dostupné z: <http://bomar.cz/cs/cz-ergonomic/automaticke/ergonomic-290250-gac>
14. CNC soustruhy. *KOVOSVIT MAS* [online]. 2013 [vid. 2014-02-17]. Dostupné z: <http://www.kovosvit.cz/cz/produkty/podkategorie/15/technologie-soustruzeni/cnc-soustruhy>
15. CNC soustruhy SP 180. *KOVOSVIT MAS* [online]. 2013 [vid. 2014-02-17]. Dostupné z: <http://kovosvit.cz/upload/products/pdf/sp-180-1384859346.pdf>
16. KOVOSVIT MAS, a.s. *Firemní podklady* [email]. [vid. 2014-02-24].

17. VDI Driven Tool holders. *China direct buy* [online]. 2014 [vid. 2014-03-29]. Dostupné z: http://tool_holder.china-direct-buy.com/v/4/product_detail/503424/VDI_Driven_Tool_holders.html
18. PRAMET TOOLS, s.r.o. *Katalog soustružení 2014*. 2014. Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/ke-stazeni.html>
19. RADECO ČTVERCOVÉ 20X20MM ČSN 223690. *KOVONÁSTROJE* [online]. 2005 [vid. 2014-03-02]. Dostupné z: <http://www.kovonastroje.cz/Nastroje-pro-kovoobrabeni/Soustruzeni/Soustruznicke-noze-a-VBD/Polotovary-nozu-RADECO/Ctvercove/Radeco-ctvercove-20x20mm-CSN-223690.html>
20. Doporučené řezné podmínky soustružnických nožů. *Tumlikovo* [online]. 2010 [vid. 2014-03-02]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/rezne-podminky-nastroju/>
21. WNT ČESKÁ REPUBLIKA S.R.O. *Katalog TK vrtáky*. 2013. Dostupné z: <http://www.wnt.de/cs-cs/WNT-Multimedia-stahovani.htm>
22. NAREX MTE S.R.O. *NAREX MTE...Expert in Boring* [online]. 2008 [vid. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.narexmte.cz/>
23. HSS countersink to DIN 335. *CONRAD* [online]. 2010 [vid. 2014-03-01]. Dostupné z: <http://www.conrad.com/ce/en/product/813211/HSS-countersink-to-DIN-335-C-diameter-104-mm-Exact-Bore-diameter104-mm-Length50-mm-Shank-diameter6-mm>
24. M&V, spol. s.r.o. *Katalog a ceník nástrojů STIMZET ke stažení*. 2013. Dostupné z: http://stimzet.cz/data/ke_stazeni_cz.html
25. NAREX ŽDÁNICE, spol. s.r.o. *Katalog 27*. Dostupné z: http://www.narexzd.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=173&Itemid=45
26. Popis brusky FH2a. *Tumlikovo* [online]. 2010 [vid. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/fh2a/>
27. Fréza kot. DIN885 HSSE polohrubozubá D125x14x40. *MT nástroje* [online]. 2010 [vid. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.i-zavitniky.cz/i-zavitniky/eshop/43-1-Frezy-HSS-HSSE-a-HSSCo/1020-4-HSSE/5/15396-Freza-kot-DIN885-HSSE-polohrubozuba-D125x14x40>
28. Vrtačky. *Rantech* [online]. 2012 [vid. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.rantech.sk/vrtacky.htm>
29. Sloupové vrtačky VS 32 B. *Mostr Libor Brom* [online]. 2011 [vid. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.mostr.cz/Sloupove-vrtacky-VS-32-B.html>

30. DIN338 Vrták střední řada HSS D4.00 (1121). *MT nástroje* [online]. 2010 [vid. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.i-zavitniky.cz/i-zavitniky/eshop/24-1-Vrtaky-HSS-HSSCo/588-4-prumer-3-30-az-6-60mm/5/11392-DIN338-Vrtak-stredni-rada-HSS-D4-00-1121>
31. BB 6. *Opravy brusek* [online]. 2009 [vid. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.opravybrusek.cz/stroje/BB6/>
32. BUA 16. *Difak - generální opravy obráběcích strojů* [online]. 2008 [vid. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.difak.cz/index.php?pid=333>
33. Bruska bezhrotá. *Stroje Svoboda* [online]. 2009 [vid. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.strojesvoboda.cz/katalog.php?page=DETAIL&katalog=&key=&o=1&id=5824>
34. BUA 16. *Opravy brusek* [online]. 2009 [vid. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.opravybrusek.cz/stroje/BUA16/>
35. Brusné kotouče ploché. *BO-IMPORT* [online]. 2009 [vid. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.bo-import.cz/brusne-kotouce-ploche/c-1333/>
36. Kotouče brusné. *Landsmann* [online]. 2014 [vid. 2014-02-14]. Dostupné z: http://www.landsmann.cz/carborundum-41451-2238-00-kotouc-brusny-pr-250x25x76mm-zr-40-plochy-414-slo_d24128.html
37. ŠTULPA, Miloslav. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.
38. SMID, Peter. *CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming*. 2nd ed. New York: Industrial Press, 2003, xx, 508 s. ISBN 08-311-3158-6.
39. KRÁL, Mojmir. *Základy CNC obráběcích strojů*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, 59 s. Učebnice pro odborné školy (Fragment). ISBN 80-720-0295-3.
40. SINUTRAIN FOR SINUMERIK. *Sinutrain Operate 4.5* [software]. [přístup 30. 3. 2014]. Dostupné z: http://www.industry.siemens.com/topics/global/de/cnc4you/cnc-downloads/sinutrain_downloads/Seiten/sinutrain_downloads.aspx. Požadavky na systém: MS Windows XP Professional, Home Edition SP3, MS Windows 7 Home Basic, Home Premium, Professional, Ultimate, Enterprise (32-64bit); processor 1,5 GHz nebo více; 1 GB RAM; 3 GB místa na disku.
41. CAD/CAM Software for CNC Turning. *BobCAD-CAM* [online]. 2014 [vid. 2014-03-08]. Dostupné z: <http://bobcad.com/cadcam-software-for-cnc-turning/>

42. CL Data. In: *HSM WORKS: The CAM solution for SolidWorks* [online]. 2014 [vid. 2014-04-11]. Dostupné z: <http://camforum.autodesk.com/index.php?topic=2988.0>
43. KELLER, Petr. Programování a řízení CNC strojů: Prezentace přednášek - 2.část. In: [online]. Technická univerzita v Liberci, 2005 [vid. 2014-03-09]. Dostupné z: www.kvs.tul.cz/getFile/case:get/id:14229
44. The Pros and Cons of CAD/CAM Software. *The high tech society* [online]. 2012 [vid. 2014-03-08]. Dostupné z: <http://thehightechsociety.com/cadcam-software/>
45. SIEMENS AG. *SINUMERIK - the favorite for turning: From turning through milling on lathes up to multitasking machining*. Germany, 2013.
46. SINUMERIK – CNC portfolio for the global world of machine tools. *Automation SIEMENS* [online]. 2014 [vid. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://www.automation.siemens.com/mcms/mc-systems/en/automation-systems/cnc-sinumerik/sinumerik-controls/Pages/sinumerik-controls.aspx>
47. KLOCOVÁ, Eva. Sinumerik slaví půlstoletí. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2010 [vid. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/sinumerik-slavi-pulstoleti.html>
48. Řídicí systémy SINUMERIK. *SIEMENS Česká Republika* [online]. 2014 [vid. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=3c76394997&ctxp=home>
49. SIEMENS, s.r.o. *Sinumerik 802D sl: Jednoduché kompaktní CNC řízení*. Praha, 2013.
50. SIEMENS AG. *SINUMERIK - Intelligent solutions and services for machine tools*. Germany, 2013.
51. SINUMERIK 808: Outstanding performance, simply smart. *Automation SIEMENS* [online]. 2014 [vid. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.automation.siemens.com/mcms/mc-systems/en/automation-systems/cnc-sinumerik/sinumerik-controls/sinumerik-808/Pages/sinumerik-808.aspx>
52. SINUMERIK 808: Product Information. *Siemens* [online]. 2014 [vid. 2014-03-24]. Dostupné z: <https://eb.automation.siemens.com/mall/catalog/products/10168081>

53. SINUMERIK 828D / SINUMERIK 828D BASIC: The most powerful controller in the compact class. *Automation SIEMENS* [online]. 2014 [vid. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.automation.siemens.com/mcms/mc-systems/en/automation-systems/cnc-sinumerik/sinumerik-controls/sinumerik-828/Pages/sinumerik-828.aspx>
54. SINUMERIK 828: Product Information. *Siemens* [online]. 2014 [vid. 2014-03-24]. Dostupné z: <https://eb.automation.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10168082?tree=CatalogTree>
55. SIEMENS, s.r.o. *Sinumerik 840D sl: Výkonná systémová platforma pro nejvyšší nároky*. Praha, 2013.
56. About FANUC. *FA&ROBOT&ROBOMACHINE FANUC* [online]. 2014 [vid. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.fanuc.co.jp/en/profile/index.htm>
57. GE FANUC AUTOMATION. *GE Fanuc Automation CNC*. 2005. Dostupné z: <http://www.fanucfa.cz/cz-cz/binarywriterservlet?imgUid=9bf705c2-d74b-15ff-7858-c18cc0298603&uBasVariant=33333333-3333-3333-3333-333333333333>
58. Řídicí systémy CNC. *FANUC FA* [online]. 2010 [vid. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.fanucfa.cz/cz-cz/broker?uMen=58c3e416-c564-01e5-945c-c948b7234fed>
59. Série 30i/31i/32i. *FANUC FA* [online]. 2010 [vid. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.fanucfa.cz/cz-cz/broker?uMen=4fc3e416-c564-01e5-945c-c948b7234fed>
60. Série 0i/0i Mate-Model D. *FANUC FA* [online]. 2010 [vid. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.fanucfa.cz/cz-cz/broker?uMen=9cb404de-a439-7b11-a468-451c948b7234>
61. Historie společnosti a mezníky ve vývoji produktů. *HEIDENHAIN* [online]. 2014 [vid. 2014-03-25]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/o_firme/historie/
62. HEIDENHAIN dnes. *HEIDENHAIN* [online]. 2014 [vid. 2014-03-25]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/o_firme/heidenhain-dnes/
63. Řízení obráběcích strojů. *HEIDENHAIN* [online]. 2014 [vid. 2014-03-25]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty-a-pouziti/rizeni-orablecich-stroju/
64. HEIDENHAIN. *ITNC 530: Víceúčelové CNC řízení pro frézky, vyvrtávačky a obráběcí centra*. Česká Republika, září 2013. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/php/dokumentace-informace/dokumentace/prospekty/popup/media/media/file/view/file-0507/file.pdf

65. MANUALplus 620 – CNC řízení pro soustruhy. *HEIDENHAIN* [online]. 2014 [vid. 2014-03-25]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty-a-pouziti/rizeni-obrabecich-stroju/manualplus-620/
66. TNC 640 – The Contouring Control for Milling and Milling/Turning Machines. *HEIDENHAIN* [online]. 2014 [vid. 2014-03-25]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty-a-pouziti/rizeni-obrabecich-stroju/tnc-640/
67. Siemens, s.r.o. *SinuTrain Operate V4.5* [konzultace]. [vid. 2014-04-09].
68. SinuTrain for SINUMERIK Operate V4.5. *CNC Arena* [online]. 2013 [vid. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.cnc-arena.com/en/siemens/blog/download-trial-version-sinutrain-for-sinumerik-operate-v4-5--1434.html>
69. SIEMENS AG. *SINUMERIK 840D sl/828D: Příručka pro obsluhu*. 2011. Dostupné z: https://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/csfetch/48057241/BHDsl_0710_cz_cs-CZ.pdf?func=cslib.csFetch&nodeid=61510868&forcedownload=true
70. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
71. Online katalog. *ISCAR* [online]. 2013 [vid. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://mpwr.iscar.com/machiningpwr/machiningpower.wgx?vwginstance=6d3c202a335f41debdfeecfdcf17728b>
72. Fond pracovní doby - Česko 2015. *Calendar.sk* [online]. 2014 [vid. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://calendar.zoznam.sk/worktime-czcz.php?hy=2015>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CNC	[-]	Computer Numeric Control
ČR	[-]	Česká republika
ČSN	[-]	česká technická norma
DIN	[-]	německá národní norma
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
HSS	[-]	High Speed Steel
HSSE	[-]	Super High Speed Steel
ISO	[-]	mezinárodní norma
NC	[-]	Numerical Control

Symbol	Jednotka	Popis
A_D	[mm ²]	jmenovitý průřez třísky
C_{Fc}	[-]	konstanta pro výpočet řezné síly F _c
F_c	[N]	tangenciální složka řezné síly
F_{ef}	[hod]	roční efektivní fond pracoviště
P_c	[kW]	řezný výkon
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
b_D	[mm]	jmenovitá šířka třísky
f_{ot}	[mm]	posuv na otáčku
h_D	[mm]	jmenovitá tloušťka třísky
k_c	[MPa]	měrná řezná síla
n	[min ⁻¹]	otáčky vřetena
r_ε	[mm]	poloměr zaoblení břitu nástroje
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
x_{Fc}	[-]	konstanta pro výpočet řezné síly F _c
y_{Fc}	[-]	konstanta pro výpočet řezné síly F _c
λ	[°]	úhel naklopení břitové destičky

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Příkazové znaky u ISO programování
Příloha 2	Soustruh SN 50 B
Příloha 3	Používané soustružnické nástroje u stávající výroby čepu
Příloha 4	Stroj a nástroj u stávající výroby mazací drážky
Příloha 5	NC program pro výrobu 1. strany součásti
Příloha 6	NC program pro výrobu 2. strany součásti
Příloha 7	Dosažené hodnoty řezné síly F_c při provedeném experimentu
Příloha 8	Technologický postup výroby čepu
Příloha 9	Výrobní výkres čepu

PŘÍLOHA 1 – Příkazové znaky u ISO programování

Přehled základních přípravných funkcí:

G0	Lineární interpolace rychloposuvem
G1	Lineární interpolace pracovním posuvem
G2	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G3	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G17	Volba pracovní roviny X/Y
G18	Volba pracovní roviny X/Z
G40	Vypnutí korekce poloměru nástroje
G54	Nastavitelné posunutí nulového bodu
G70	Zadávání dráhy v palcích
G71	Zadávání dráhy v mm
G74	Nájezd do referenčního bodu
G90	Absolutní programování
G91	Inkrementální programování
G94	Posuv v jednotkách $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
G95	Posuv v jednotkách $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$
G96	Zapnutí konstantní řezné rychlosti
G97	Vypnutí konstantní řezné rychlosti (konstantní velikost otáček)

Přehled základních pomocných funkcí:

M0	Programovatelný stop programu
M3	Spuštění vřetena ve směru hodinových ručiček
M4	Spuštění vřetena proti směru hodinových ručiček
M5	Zastavení vřetena
M6	Výměna nástroje
M8	Zapnutí chlazení
M9	Vypnutí chlazení
M17	Konec podprogramu
M30	Konec programu

Přehled základních adresových znaků:

F	Posuv
H	Přídavná funkce
L	Načtení podprogramu
N	Číslo vedlejšího bloku
P	Počet opakování programu
S	Velikost otáček vřetene
T	Číslo nástroje
D	Hodnota korekce
%	Počáteční a oddělovací znak při přenosu souborů
:	Číslo hlavního bloku

QUESADA, Robert. *Computer numerical control: machining and turning centers*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005, 548 s. ISBN 01-304-8867-4.

PÍŠKA, Miroslav a Aleš POLZER. *Programování moderních CNC strojů: Výukové texty ke kurzům*. 1: LITERA Brno, 2012. ISBN 978-80-214-4519-2.

PŘÍLOHA 2 – Soustruh SN 50 B



Obr. 63 Univerzální hrotový soustruh SN 50 B.

Technické informace o stroji:

- výkon motoru: 5,5 kW
- otáčky vřetena: 22-2000 min⁻¹
- vzdálenost hrotů: 1500 mm
- posuv na otáčku
 - podélný: 0,05-6,4 mm
 - příčný: 0,025-3,2 mm

Univerzální soustruhy. *Rantech* [online]. 2012 [vid. 2014-02-11]. Dostupné z: <http://www.rantech.sk/ponuka.php>

Soustruh hrotový. *Stroje Svoboda* [online]. 2009 [vid. 2014-02-12]. Dostupné z: <http://www.strojesvoboda.cz/katalog.php?page=DETAIL&katalog=&key=&o=1&id=3734>

PŘÍLOHA 3 – Používané soustružnické nástroje u stávající výroby čepu

Nástroj č. 1:

Vrták středící 60° tvar B
ČSN 22 1112 (viz obr. 64)



Obr. 64 Vrták středící B4.

Nástroj č. 2:

Ubírací nůž stranový,
pravý 25x25 mm S 30
ČSN 22 3716 (viz obr. 65)



Obr. 65 Ubírací nůž stranový.

Nástroj č. 3:

Ubírací nůž ohnutý,
pravý 25x25 mm S 30
ČSN 22 3712 (viz obr. 66)



Obr. 66 Ubírací nůž ohnutý.

Nástroj č. 4:

Nůž zapichovací,
pravý 12x8 mm S 30
ČSN 22 3730 (viz obr. 67)



Obr. 67 Nůž zapichovací.

Nástroj č. 5:

Nůž závitový,
pravý 20x12 mm S 30
ČSN 22 3770 (viz obr. 68)



Obr. 68 Nůž závitový.

Nástroj č. 6:

Šroubovitý vrták s válcovou stopkou,
prodloužený D9x175/115 HSS
ČSN 22 1125 (viz obr. 69)



Obr. 69 Šroubovitý vrták.

Nástroj č. 7:

Strojní závitník krátký,
M10x1 mm HSS
ČSN 22 3042 (viz obr. 70)



Obr. 70 Strojní závitník krátký.

MT nástroje [online]. 2010 [vid. 2014-02-12]. Dostupné z:
<http://www.i-zavitniky.cz/>

Vrták středící tvar B 60° HSS D4.00. *MT nástroje* [online]. 2010 [vid. 2014-02-12].
Dostupné z: [http://www.i-zavitniky.cz/i-zavitniky/eshop/
53-1-Navrtavaky-HSS-HSSCo-a-SK/1406-2-Navrtavaky-60/5/
15790-Vrtak-stredici-tvar-B-60-HSS-D4-00](http://www.i-zavitniky.cz/i-zavitniky/eshop/53-1-Navrtavaky-HSS-HSSCo-a-SK/1406-2-Navrtavaky-60/5/15790-Vrtak-stredici-tvar-B-60-HSS-D4-00)

Soustružnický nůž s letovaným SK plátkem. *Verko* [online]. 2007
[vid. 2014-02-12]. Dostupné z:
<http://www.verko.cz/soustruznicky-nuz-s-letovany-m-sk-platkem-12826/>

DIN340 Vrták dlouhá řada HSS D9.00. *MT nástroje* [online]. 2010
[vid. 2014-02-12]. Dostupné z: [http://www.i-zavitniky.cz/i-zavitniky/eshop/
24-1-Vrtaky-HSS-HSSCo/0/5/6031-DIN340-Vrtak-dlouha-rada-HSS-D9-00-1125](http://www.i-zavitniky.cz/i-zavitniky/eshop/24-1-Vrtaky-HSS-HSSCo/0/5/6031-DIN340-Vrtak-dlouha-rada-HSS-D9-00-1125)

Závitník-přímá drážka ISO2 HSSE M10. *MT nástroje* [online]. 2010
[vid. 2014-03-02]. Dostupné z: [http://www.i-zavitniky.cz/i-zavitniky/eshop/
4-1-Strojni-zavitniky/377-4-pro-oceli-do-800N-mm2/5/](http://www.i-zavitniky.cz/i-zavitniky/eshop/4-1-Strojni-zavitniky/377-4-pro-oceli-do-800N-mm2/5/)

PŘÍLOHA 4 – Stroj a nástroj u stávající výroby mazací drážky



Obr. 71 Univerzální frézka FA 3 AU.

Technické informace o stroji:

- výkon motoru: 4,2 kW
- otáčky vřetena: 45-2000 min⁻¹
- posuv za minutu
 - podélný: 14-900 mm
 - příčný: 14-900 mm
 - svislý: 4-250 mm



Obr. 72 Fréza půlkruhová.

Používané nástroje:

Fréza půlkruhová vypouklá
nástrčná R 2,5 HSS
ČSN 22 2210 (viz obr. 72)

Používaná měřidla u dané operace:

- posuvné měřítko s hroty 0-150 mm, ČSN 25 1234

Frézky. *Rantech* [online]. 2012 [vid. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.rantech.sk/frezy.htm>

Frézka univerzální FA3U, FA3AU. *TOP kontakt* [online]. 2013 [vid. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://produkty.topkontakt.idnes.cz/p/frezka-univerzalni-fa3u-fa3au/15109157/>

Fréza ČSN22 2210 půlkruh. vypouklá HSS R 2,5. *MT nástroje* [online]. 2010 [vid. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.i-zavitniky.cz/i-zavitniky/eshop/43-1-Frezy-HSS-HSSE-a-HSSCo/0/5/14239-Freza-CSN22-2210-pulkruh-vypoukla-HSS-R-2-5>

Prodej nástrojů: Prodej nástrojů pro kovovýrobu [online]. 2011 [vid. 2014-02-12]. Dostupné z: <http://www.prodejnastroju.cz/>

PŘÍLOHA 5 – NC program pro výrobu 1. strany součásti

MSG ("NASTAVENI")

G54 ;posunuti nuloveho bodu

G90 DIAMON ;absolutni prumerove programovani

G18 ;volba pracovni roviny X/Z

G95 ;volba posuvu v mm/ot

WORKPIECE(,,"CYLINDER",0,0,-264,-255,45)

MSG ("HRUBOVANI")

G0 X150 Z10 ;rychloposuvem do vymeny nástroje

T="HRUBOVACI NUZ" ;vymena nástroje

G96 S250 ;konstatni rezna rychlost

LIMS=4500 ;maximalni otacky vretena

M4 M8 ;spusteni vretena a chlazení

G0 X50 Z5 ;rychloposuvem před obrobek

N100 CYCLE62("TVAR",1,,)

CYCLE952("kont1",,"",1101311,0.3,0.15,0.3,0.1,0.1,0.5,0.1,0.1,0.1,1,0.5,,,,,2,2,,0,1,,
0,12,1100010,1,0,0.1)

MSG ("DOKONCOVANI")

G0 X150 Z10 ;rychloposuvem do vymeny nástroje

T="DOKONCOVACI NUZ" ;vymena nástroje

G96 S300 ;konstatni rezna rychlost

LIMS=4500 ;maximalni otacky vretena

M4 M8 ;spusteni vretena a chlazení

G0 X25 Z5 ;rychloposuvem před obrobek

CYCLE952("kon2",,"",1101321,0.1,0.15,0.2,0.1,0.1,0.3,0.3,0.1,0.1,1,0,0,,,,,2,2,,0,1,
,,0,12,1100010,1,0,0.1)

MSG ("ZAVIT M24X2")

G0 X150 Z10 ;rychloposuvem do vymeny nástroje

T="ZAVITOVY NUZ" ;vymena nástroje

G96 S140 ;konstatni rezna rychlost

LIMS=4500 ;maximalni otacky vretena

M4 M8 ;spusteni vretena a chlazení

G0 X25 Z5 ;rychloposuvem před obrobek

CYCLE99(-

41,24,41,,2,0,1.227,0.05,35.213926,0,13,2,2,1310203,4,2,0.17,0.5,0,0,1,0,0.866,1,,,,
2,1001)

MSG ("MAZACI DRAZKA")

G0 X150 Z10 ;rychloposuvem do vymeny nástroje

T="RADECO" ;vymena nástroje

G96 S20 ;konstatni rezna rychlost

LIMS=4500 ;maximalni otacky vretena

M4 M8 ;spusteni vrtetena a chlazení

G0 X40 Z-90 ;rychloposuvem před obrobek

CYCLE99(-103,35.156,-

114,,0,0,1.2,0,32.005383,0,1,0,65,1110101,4,2,1.2,0.5,0,0,1,0,0.75,1,,,,,2,1001)

G0 X150 Z10 ;odjezd nástroje od obrobku

M30 ;konec programu

PODPROGRAM DEFINUJÍCÍ KONTURU SOUČÁSTI:

```
E_LAB_A_TVAR: ;#SM Z:7
;#7__DlGK contour definition begin - Don't change!;*GP*;*RO*;*HD*
G18 G90 DIAM90;*GP*
G0 Z0 X20 ;*GP*
G1 X24 CHR=2 ;*GP*
Z-38 ;*GP*
Z-40.741 X20.835 RND=.8 ;*GP*
Z-44 RND=.8 ;*GP*
X26.164 RND=.1 ;*GP*
Z-83.827 ;*GP*
Z-84.52 X25.364 RND=.8 ;*GP*
Z-86.5 RND=.8 ;*GP*
X35.156 CHR=2.1 ;*GP*
Z-249.327 ;*GP*
Z-250.02 X34.356 RND=.8 ;*GP*
Z-252 CHR=.8 ;*GP*
X43 ;*GP*
Z-253.25 X45.5 ;*GP*
;CON,V64,2,0.0000,14,14,MST:3,2,AX:Z,X,K,I,TRANS:0;*GP*;*RO*;*HD*
;S,EX:0,EY:24,ASE:90;*GP*;*RO*;*HD*
;F,LFASE:2;*GP*;*RO*;*HD*
;LL,EX:-38;*GP*;*RO*;*HD*
;LA,EY:20.835,ASE:210;*GP*;*RO*;*HD*
;R,RROUND:.8;*GP*;*RO*;*HD*
;LL,EX:-44;*GP*;*RO*;*HD*
;R,RROUND:.8;*GP*;*RO*;*HD*
;LU,EY:25.964;*GP*;*RO*;*HD*
;R,RROUND:.1;*GP*;*RO*;*HD*
;LL,EX:-84,DST:.1,ATT:APP(ALLPARA);*GP*;*RO*;*HD*
;LA,EY:25.364,ASE:210;*GP*;*RO*;*HD*
;R,RROUND:.8;*GP*;*RO*;*HD*
;LL,EX:-86.5;*GP*;*RO*;*HD*
;R,RROUND:.8;*GP*;*RO*;*HD*
;LU,EY:34.956;*GP*;*RO*;*HD*
;F,LFASE:2;*GP*;*RO*;*HD*
;LL,EX:-249.5,DST:.1,ATT:APP(ALLPARA);*GP*;*RO*;*HD*
;LA,EY:34.356,ASE:210;*GP*;*RO*;*HD*
;R,RROUND:.8;*GP*;*RO*;*HD*
;LL,EX:-252;*GP*;*RO*;*HD*
;F,LFASE:.8;*GP*;*RO*;*HD*
;LU,EY:43;*GP*;*RO*;*HD*
;LA,EY:45.5,ASE:135;*GP*;*RO*;*HD*
;#End contour definition end - Don't change!;*GP*;*RO*;*HD*
E_LAB_E_TVAR:
```

PŘÍLOHA 6 – NC program pro výrobu 2. strany součásti

MSG ("NASTAVENI")

G54 ;posunuti nuloveho bodu

G90 DIAMON ;absolutni prumerove programovani

G18 ;volba pracovni roviny X/Z

G95 ;volba posuvu v mm/ot

WORKPIECE(,,"CYLINDER",0,0,-264,-40,45)

MSG ("SRAZENI HRANY")

G0 X150 Z10 ;rychloposuvem do vymeny nástroje

T="HRUBOVACI NUZ" ;vymena nástroje

G96 S240 ;konstantni rezna rychlost

LIMS=4500 ;maximalni otacky vretena

M4 M8 ;spusteni vretena a chlazení

G0 X50 Z5 ;rychloposuvem před obrobek

CYCLE951(45,0,2,2,45,45,1,3,0,0,11,0,0,0,1,0.3,2,52,1111111)

MSG ("VRTANI DO HLOUBKY 30 mm")

G0 X150 Z10 ;rychloposuvem do vymeny nástroje

T="VRTAK NAVRTANI" ;vymena nástroje

G96 S125 ;konstatni rezna rychlost

G17 ;volba pracovni roviny X/Y

LIMS=4500 ;maximalni otacky vretena

M4 M8 ;spusteni vretena a chlazení

G0 X0 Z10 ;rychloposuvem před obrobek

F0.28 ;posuv v mm/ot

CYCLE82(20,0,1,,30,0.06,10,1,11)

MSG ("VRTANI DO PLNE HLOUBKY 100 mm")

G0 X150 Z10 ;rychloposuvem do vymeny nástroje

T="VRTAK" ;vymena nástroje

G96 S100 ;konstatni rezna rychlost

G17 ;volba pracovni roviny X/Y

LIMS=4500 ;maximalni otacky vretena

M4 M8 ;spusteni vretena a chlazení

G0 X0 Z100 ;rychloposuvem před obrobek

F0.25 ;posuv v mm/ot

CYCLE82(20,0,1,,100,0.07,10,1,11)

MSG ("SRAZENI VNITRNI HRANY")

G0 X150 Z10 ;rychloposuvem do vymeny nástroje

T="ZAHLUBNIK" ;vymena nástroje

G96 S25 ;konstatni rezna rychlost

G17 ;volba pracovni roviny X/Y

LIMS=4500 ;maximalni otacky vretena

M4 M8 ;spusteni vretena a chlazení

G0 X0 Z10 ;rychloposuvem před obrobek

F0.12 ;posuv v mm/ot

CYCLE82(20,0,1,,7,0.4,0,1,11)

MSG ("VNITRNI ZAVIT")

G0 X150 Z10 ;rychloposuvem do vymeny nástroje

T="ZAVITNIK" ;vymena nástroje

G97 S380 ;konstatni velikost otacek

G17 ;volba pracovni roviny X/Y

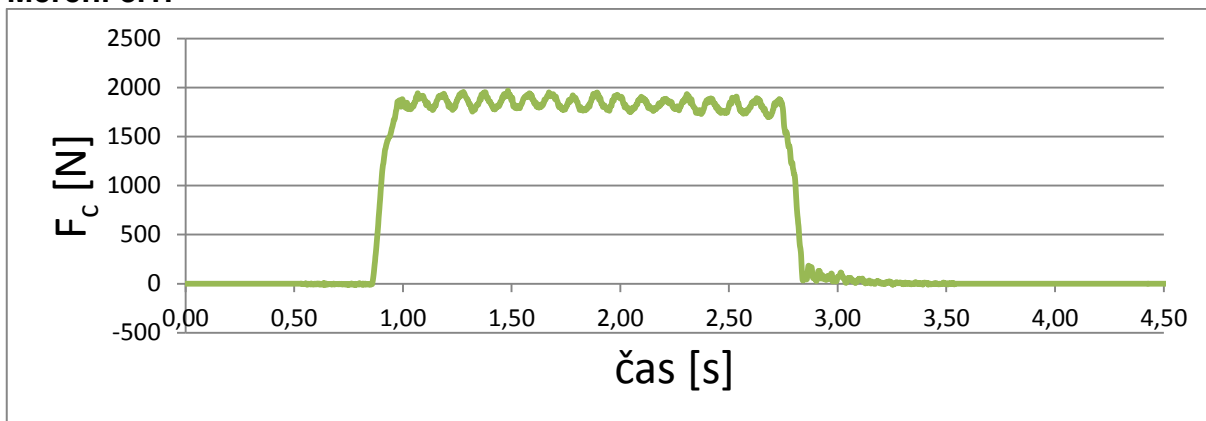
LIMS=4500 ;maximalni otacky vretena

M3 M8 ;spusteni vretena a chlazení

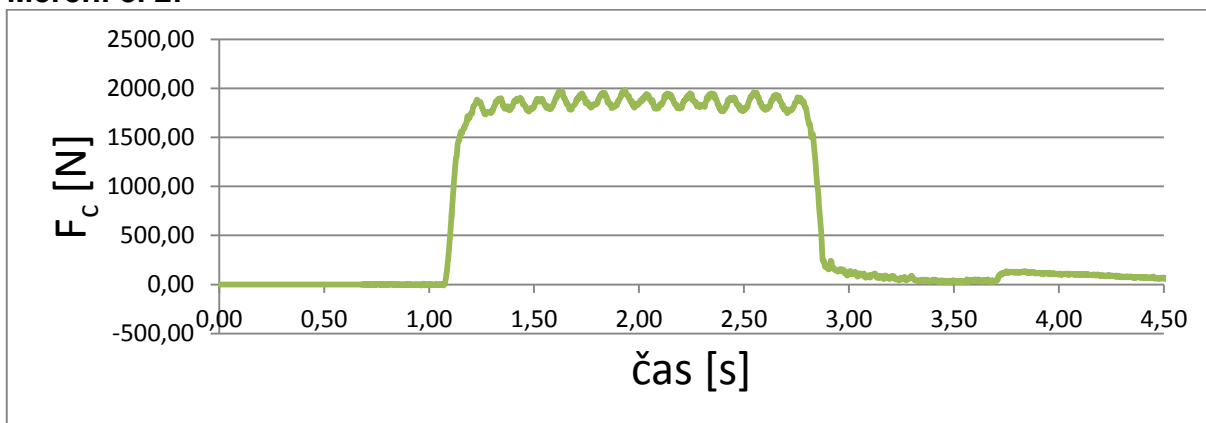
G0 X0 Z10 ;rychloposuvem pred obrobek
CYCLE84(20,0,1,,15,0.5,5,,1,0,380,380,0,1,0,0,5,1.4,,,,,1001,2001001)
G0 X150 Z10 ;odjezd nastroje od obrobku
M30 ;konec porgramu

PŘÍLOHA 7 – Dosažené hodnoty řezné síly F_c při provedeném experimentu

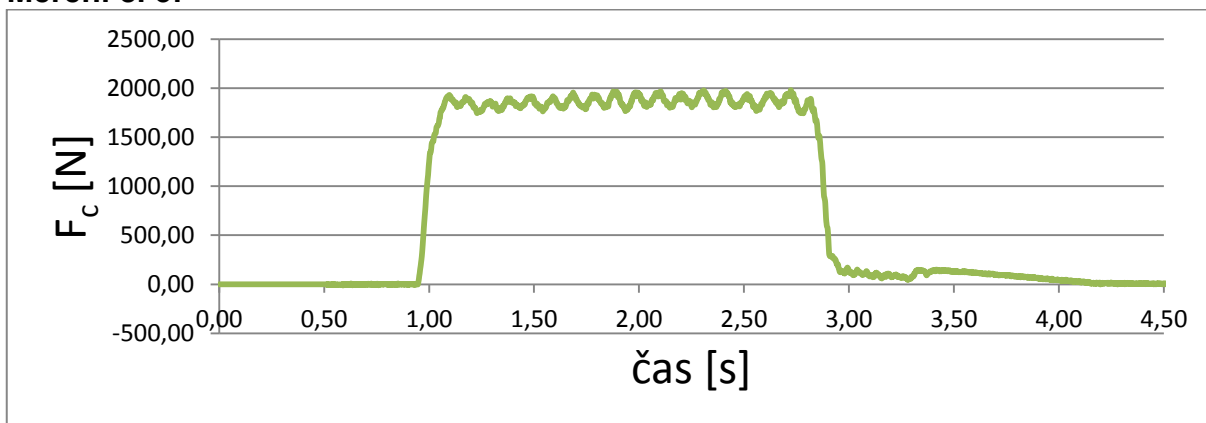
Měření č.1:



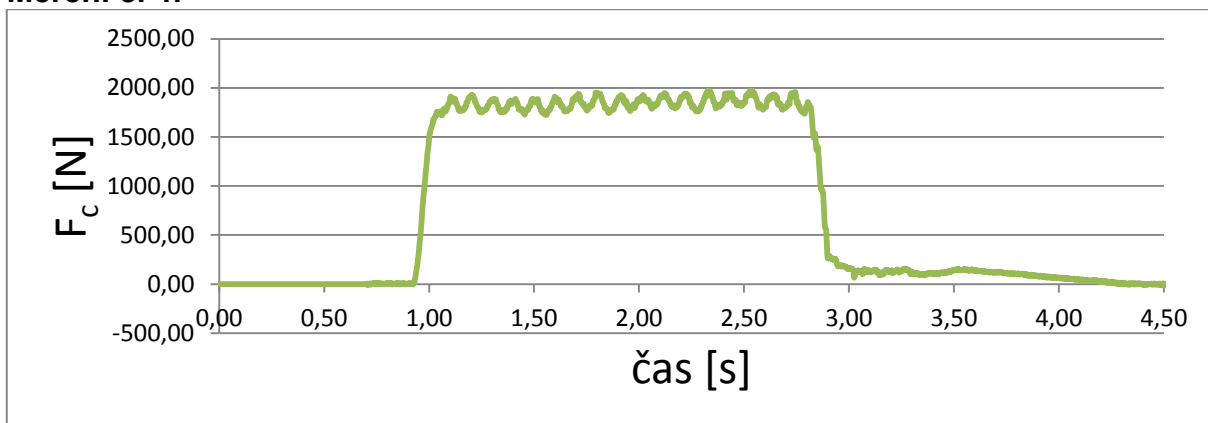
Měření č. 2:



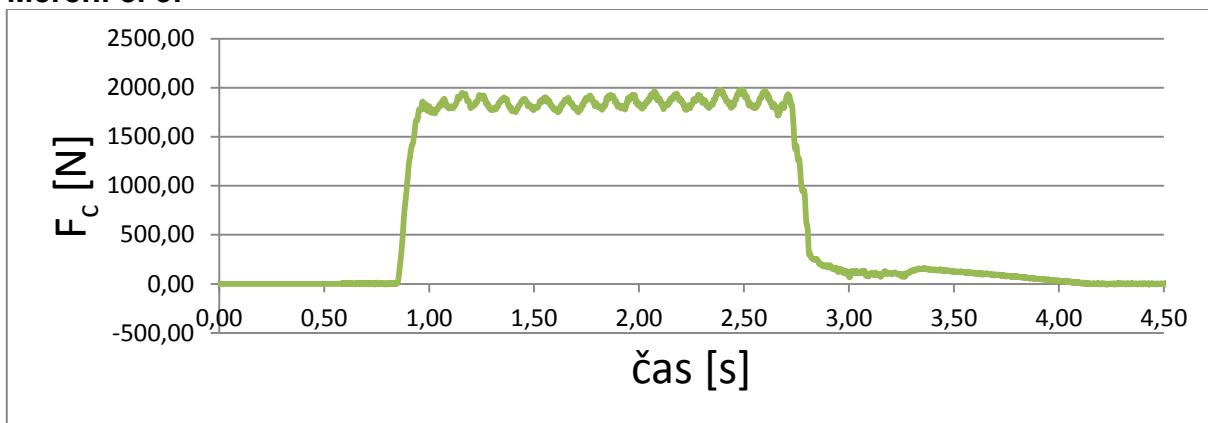
Měření č. 3:



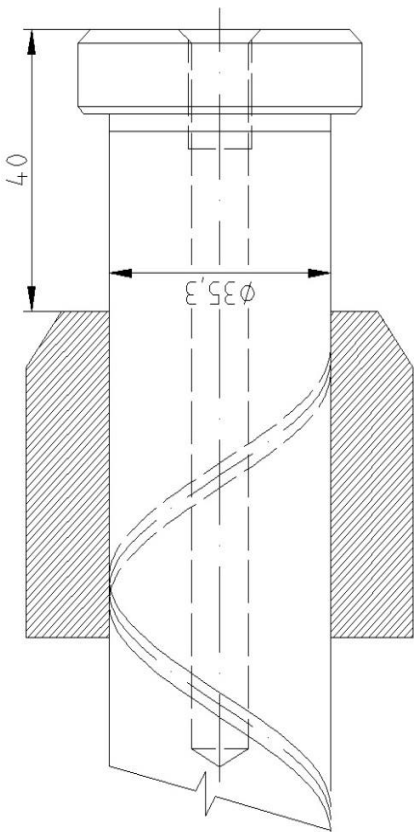
Měření č. 4:

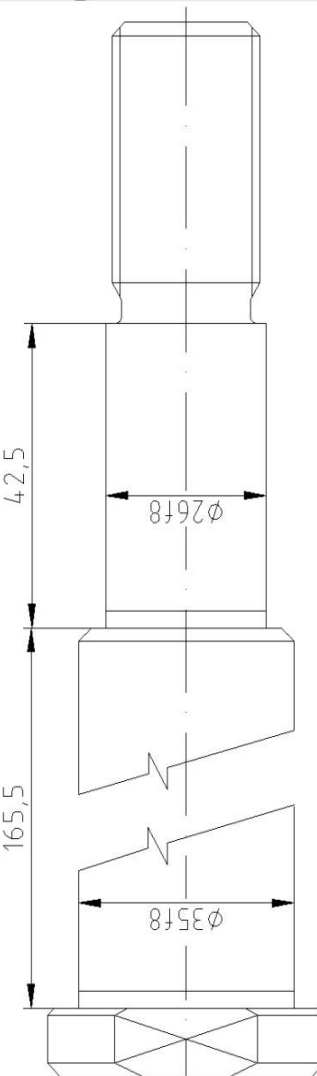


Měření č. 5:



VÝROBNÍ POSTUP			Název součástky: Čep zadního pera vzduchového pérování	Rozměr polotovaru Ø45-264	Norma polotovaru ČSN 42 6510	Materiál polotovaru 14 220.3
ČO ČP	PRACOVISTĚ STROJ	POPIS PRÁCE NÁČRTEK	VÝROBNÍ NÁSTROJE, MĚŘIDLA, POMŮCKY			
01 1	Dělrna materiálu pásová pila Bomar Ergonomic 290.250 GAC	1. vložit tyč Ø45 ČSN 42 6510 v délce 6 m do automatického podavače pily 2. řezat tyč na délku 264+-0,25 mm 3. kontrolovat rozměr 264+-0,25 mm u každého kusu 4. uložit polotovar do přepravky	posuvné měřtko 0-300 mm ČSN 25 1231			
02 2	Soustružna univerzální hrotový soustruh SN 50 B	1. upnout polotovar do sklíčidla, délka vysunutí 40 mm 2. navrtat středící důlek typu A 3. vyjmout polotovar ze sklíčidla a uložit do přepravky	vrták středící 60° tvar A HSS, ČSN 22 1110			
03 2	Soustružna CNC soustruh SP 180	1. upnout polotovar do sklíčidla - délka vysunutí 255 mm 2. podepřít otočným hrotem 3. zkontrolovat stav a umístění potřebných nástrojů 4. ověřit NC program "čep 1. strana" simulací 5. spustit program "čep 1. strana" 6. vyjmout obrobek ze sklíčidla	soustružnický nůž levý č. 1 - nástrojový držák PDJNR 2020 K 15 - břitová destička DNMG 1500608 ER-SI soustružnický nůž levý č. 2 - nástrojový držák SDJCR 2020 K 11 - břitová destička DCMT 11T304 E-UR soustružnický nůž závitový - nástrojový držák SER 2020 K 16 - břitová destička TN 16 EL 200M RADECO čtvercové HSS, ČSN 22 3690 monolitní vrták TK 3D UNI HA Ti 700, DIN 6535 monolitní vrták TK 12D 4F HA Ti 700, DIN 6535 záhlubník kuželový 90° HSS, DIN 335-C strojní závitník HSSE, DIN 376-4050			
Vypracoval: Daniel Slavík		Datum: 26.3.2014		Číslo listu: 1/4		

VÝROBNÍ POSTUP			Název součástky:	Rozměr polotovaru	Norma polotovaru	Material polotovaru
VUT FSI ÚST	Čep zadního pera vzduchového pérování		Čep zadního pera vzduchového pérování	Ø45-264	ČSN 42 6510	14 220.3
ČO ČP	PRACOVÍSTĚ STROJ	POPIS PRÁCE NÁČRTEK				
		<p>7. otočit obrobek, upnout za rozměr 35,3 mm - délka vysunutí 40 mm</p> <p>8. ověřit NC program "čep 2. strana" simulací</p> <p>9. spustit program "čep 2. strana"</p> <p>10. vyjmout obrobek ze sklíčidla</p> 				
04 $\frac{\quad}{2}$	Soustružna	<p>kontrolovat rozměr Ø35,3 mm, Ø26,3 mm, 165±0,5 mm, 44±0,5 mm, 100±2 mm</p> <p>M24x2, M10x1</p> <p>četnost: každý 5. kus</p>				
05 $\frac{\quad}{3}$	Frézárna horizontální frézka FH2a	<p>1. upnout obrobek do svěráku</p> <p>2. frézovat rovinné drážky na hlavě čepu</p> <p>3. vyjmout obrobek ze svěráku a uložit do přepravky</p> <p>řezné podmínky: vc [m/min] fz [mm] ap [mm]</p> <p>60 0,09 3,5</p>				
Vypracoval: Daniel Slavík		Datum: 26.3.2014			Číslo listu: 2/4	

VÝROBNÍ POSTUP		Název součásky:	Rozměr polotovaru	Norma polotovaru	Materiál polotovaru
VUT FSI ÚST	Čep zadního pera vzduchového pérování	POPIS PRÁCE NÁČRTEK	Ø45-264	ČSN 42 6510	14 220.3
ČO ČP	PRACOVISTĚ STROJ			VÝROBNÍ NÁSTROJE, MĚŘIDLA, POMŮCKY	
06 4	Vrtárna sloupová vrtačka VS 32 B	1. uložit obrobek do přípravku 2. vrtat díru Ø4 mm 3. vyjmout obrobek z přípravku a uložit do přepravky řezné podmínky: vc [m/min] fot [mm] 20 0,08		šroubovitý vrták s válcovou stopkou D4x75/43 HSS, ČSN 22 1121	
07 5	Kalírna elektrická pec 20 kW	1. uložit obrobek do pece 2. ohřát na teplotu 850°C, zušlechtit dle tech. postupu kalení 3. ochladit ve vodní lázni			
08 5		kontrola tvrdosti HRC 30-35 HRC u jednoho kusu z každé dávky		analogový stolní tvrtodměr Rockwell R-150M	
09 6	Brusírna bezhrotá bruska BB 6	1. uložit obrobek mezi brusné kotouče 2. brousit Ø35f8 v délce 165,5 mm 3. vyjmout obrobek a uložit do přepravky  řezné podmínky: vc [m/s] h [mm] 35 0,019		brousící kotouč 400x205x200 99BA 80 K 9 V C 40 procesní kapalina PARAMO ERO-SB poměr 1:40	
Vypracoval: Daniel Slavík		Datum: 26.3.2014		Číslo listu: 3/4	

VÝROBNÍ POSTUP			Název součástky: Čep zadního pera vzduchového pérování		Rozměr polotovaru Ø45-264	Norma polotovaru ČSN 42 6510	Material polotovaru 14 220.3
VUT FSI ÚST	PRACOVÍŠTĚ STROJ		POPIS PRÁCE NÁČRTEK				
10 6	Brusírna univerzální hrotová bruska BUA 16		1. upnout obrobek mezi hroty 2. brousit Ø26f8 v délce 42,5 mm 3. vyjmout obrobek a uložit do přepravky řezné podmínky: vc [m/s] h [mm] fot [mm] 30 0,015 8				
11 7	Výstupní kontrola		kontrolovat rozměr Ø35f8, Ø26f8, M24x2, M10x1 četnost: každý 5. kus				
12 8	Ruční pracoviště		1. zakonzervovat čep 2. zabalit čep do voskového papíru 3. uskladnit				
Vypracoval: Daniel Slavík		Datum: 26.3.2014				Číslo listu: 4/4	